

No

# RECHERCHES CHIMIQUES

**sur les**

# CRISTALLINS NORMAUX ET CATARACTÉS

THÈSE

pour obtenir le titre de Docteur de l'Université de Nancy  
mention "Pharmacie"

Présentée et soutenue le            Juillet 1935 , à       heures

PAR

**LEVIN** Gérard, Achille, Joseph

né le 26 Novembre 1905 à Tourcoing

Président : M. DOURIS, Professeur  
Suffragants } MM. PASTUREAU id.  
CORDEBARD, chargé de cours

LILLE  
IMPRIMERIE DOURIEZ-BATAILLE  
5, Rue Jacquemars-Giélée

1935







**RECHERCHES CHIMIQUES**  
**SUR LES**  
**CRISTALLINS NORMAUX ET CATARACTÉS**



Digitized by the Internet Archive  
in 2026

[https://archive.org/details/IA41547410\\_0009](https://archive.org/details/IA41547410_0009)

# RECHERCHES CHIMIQUES

sur les

# CRISTALLINS NORMAUX ET CATARACTÉS

THÈSE

pour obtenir le titre de Docteur de l'Université de Nancy  
mention "Pharmacie"

Présentée et soutenue le      Juillet 1935 , à      heures

PAR

**LEVIN Gérard, Achille, Joseph**

né le 26 Novembre 1905 à Tourcoing

Président : M. DOURIS, Professeur

Suffragants { MM. PASTUREAU id.  
CORDEBARD, chargé de cours

LILLE  
IMPRIMERIE DOURIEZ-BATAILLE  
5, Rue Jacquemars-Giélée

1935

## PERSONNEL ENSEIGNANT

### Doyen honoraire

M. BRUNTZ, \*, ☼, I ☼, O. ☼ ☼, ☼, Recteur de l'Université de Nancy

### Professeurs honoraires

MM. GRELOT, \*, I ☼, ☼.  
BRUNTZ, \*, ☼, I ☼, O ☼, ☼, ☼.

### Doyen

N.....

### Assesseur

N.....

### Professeurs

MM.

|                                 |                      |
|---------------------------------|----------------------|
| DOURIS, I ☼, ☼, ☼, ☼ .....      | Toxicologie.         |
| PASTUREAU, O *, I ☼, ☼, ☼ ..... | Pharmacie chimique.  |
| SEYOT, *, ☼, I ☼, ☼, ☼, ☼ ..... | Histoire naturelle.  |
| LASSEUR, *, ☼, I ☼, .....       | Microbiologie.       |
| PREVOST, ☼ ☼, .....             | Chimie organique.    |
| N.....                          | Pharmacie galénique. |
| N.....                          | Matière médicale.    |

### Agrégé libre

M. GIRARDET, \*, I ☼ .....

Chimie et Toxicologie.

### Chargé de cours magistral :

M. MEUNIER.....

Pharmacie galénique.

### Chargés de cours

MM.

|                         |                   |
|-------------------------|-------------------|
| VERNIER, I ☼ .....      | Zoologie.         |
| CORDEBARD, ☼, I ☼ ..... | Analyse chimique. |
| DONZELOT .....          | Physique.         |

### Chefs de travaux

MM.

|                                 |                                   |
|---------------------------------|-----------------------------------|
| VERNIER, I ☼ .....              | Microbiologie et Parasitologie.   |
| CORDEBARD, ☼, I ☼ .....         | Chimie et Analyse chimique.       |
| STEIMETZ .....                  | Micrographie.                     |
| DONZELOT (chargé de travaux) .. | Physique.                         |
| RICHARD (chargé de travaux) ..  | Pharmacie.                        |
| COLLET (chargé de travaux)..... | Chimie biologique et Toxicologie. |

### Secrétariat

M. E. TRIBOLET, I ☼ .....

Secrétaire.

*La Faculté a arrêté que les opinions émises dans les dissertations qui lui sont présentées doivent être considérées comme propres à leurs auteurs, et qu'elle n'entend ni les approuver ni les imputer.*



## A LA CHÈRE MÉMOIRE DE MON ÉPOUSE

Tu étais pour moi la compagne idéale, avec qui  
il eut été si doux de poursuivre la route...

Notre union si courte et si brutalement déchirée,  
me laisse le souvenir du dévouement de ton  
affection et de la délicate douceur de ton âme.

---

## A MON PÈRE ET A MA MÈRE

---

## A MON BEAU-PÈRE

---

## MEIS ET AMICIS

---

## A MONSIEUR LE DOYEN THILLIEZ

Professeur d'Ophtalmologie

Nous devons à sa bienveillante obligeance les  
cataractes utilisées au cours de nos essais. Nous  
lui en exprimons toute notre gratitude.

---

## A MONSIEUR LE PROFESSEUR MARCEL PAGET

qui nous a inspiré le sujet de cette thèse et a guidé nos essais. Qu'il veuille bien trouver dans la dédicace toute spéciale de ce travail le faible gage de notre reconnaissance.

---

## A MONSIEUR LE PROFESSEUR PARTURIER

dont les heureux résultats thérapeutiques furent à l'origine de notre étude.

---

## A MONSIEUR LE PROFESSEUR DOURIS

Membre correspondant de l'Académie de Médecine

En témoignage de reconnaissance pour le grand honneur qu'il nous fait en acceptant la présidence de notre thèse, et le bienveillant accueil qu'il nous a toujours réservé.

---

## A MESSIEURS LES MEMBRES DU JURY

---

## Introduction

---

Les heureux résultats obtenus par Monsieur le Professeur PARTURIER dans le traitement de certaines cataractes séniles par l'hormonothérapie parathyroïdienne, l'ont amené à intéresser Monsieur le Professeur PAGET à l'étude chimique du cristallin normal et cataracté, en vue de préciser, en particulier, le rôle joué dans la pathogénie de cette affection par les troubles du métabolisme du calcium.

Les premières recherches bibliographiques de Monsieur PAGET lui ayant montré que les résultats des analyses chimiques du cristallin cataracté, effectuées pour la plupart à l'étranger, étaient assez contradictoires, les bases d'une étude d'ensemble de la chimie du cristallin furent alors jetées. Monsieur le Professeur Paget ayant eu à sa disposition, grâce à l'obligeance de Monsieur le Professeur THILLIEZ, un certain nombre de cataractes provenant d'extraction chirurgicale, voulut bien nous associer à ses recherches en nous inspirant le travail qui fera l'objet de cette thèse.

Les travaux de chimie effectués sur des cristallins humains sont assez rares. En France particulièrement, on trouve bien quelques dosages effectués de-ci de-là sur un matériel restreint, mais aucun travail d'ensemble, à notre connaissance, n'étudie la composition chimique du cristallin opaque humain. Cela tient évidemment à la difficulté de se procurer un matériel d'analyse suffisant, étant donné la petite quantité de substance que représente un cristallin.

Nous avons spécialement orienté notre travail vers l'étude des substances minérales et du cholestérol total, pour plusieurs raisons : l'étude des protides, qui constituent la partie de beaucoup la plus importante de la substance cristallinienne, exige un état de fraîcheur absolue que ne possédaient pas nos cataractes, conservées depuis un certain temps et humectées de formol. Elle demande en outre des prises d'essai assez importantes que l'on obtient plus facilement en s'adressant à des cristallins de bœufs ou de chevaux. Les protides ont d'ailleurs, avec les lipides, fait l'objet d'assez nombreuses études parmi lesquelles nous citerons, en France, la thèse de LAVAGNA. Enfin, si plusieurs auteurs rapportent des taux pour les éléments minéraux du cristallin, ceux-ci sont assez discordants ; spécialement ceux obtenus avant 1920, que nous avons pu relever sans pouvoir la plupart du temps remonter à la source et en avoir la méthode d'obtention qui

permettrait de les discuter et en faciliterait l'interprétation. Les discordances relevées doivent avoir surtout pour cause l'importance de l'erreur relative dans des dosages effectués sur de minimes prises d'essai.

Pour avoir un travail cohérent, il aurait fallu comparer les résultats obtenus sur nos cristallins cataractés à ceux trouvés parallèlement sur des cristallins humains normaux. Etant donné la nécessité d'opérer sur des cristallins prélevés aussitôt après la mort, nous n'avons pu nous procurer, pour des raisons bien compréhensibles, que six cristallins normaux de nourrissons. Nous nous sommes adressés alors à des cristallins de lapins, de bœufs et de chevaux. S'il y a lieu de faire des réserves quant aux différences que l'on peut trouver en passant d'une espèce animale à une autre et à l'homme, elles sont généralement peu de chose en regard de certaines variations observées dans la cataracte.

Après avoir rappelé les principales notions d'anatomie, d'histologie et de physiologie concernant le cristallin, nous exposerons les recherches que nous avons effectuées et tâcherons d'en tirer quelques conclusions utiles.

Nous ne nous dissimulons pas les imperfections de notre travail, mais nous nous en consolons en songeant que les quelques mois passés dans l'atmosphère de jeunesse studieuse du Laboratoire de

chimie biologique, venant après les jours sombres que nous avons vécus par suite de la destruction du jeune foyer que nous avions fondé, nous auront permis d'apprécier pleinement les qualités de cœur et d'esprit de Monsieur le Professeur PAGET, qui nous a accueilli si cordialement et ne nous a ménagé ni ses conseils ni ses encouragements.

. . . . .

## Principales notions d'Histologie et de Physiologie du cristallin

---

### I. — ANATOMIE ET HISTOLOGIE

Le cristallin présente la forme d'une lentille biconvexe de 9 millimètres de diamètre environ, légèrement aplatie à sa face antérieure.

De consistance très faible chez l'enfant, il durcit avec l'âge, surtout dans sa partie centrale, si bien qu'on distingue peu à peu un noyau et une zone corticale plus fluide. Il n'y a cependant pas de séparation nette entre les deux régions : on constate simplement une augmentation graduelle de solidité de la périphérie vers le centre. Dans la vieillesse, les couches corticales tendent elles aussi à se solidifier et le noyau gagne de l'importance.

Le cristallin incolore et absolument transparent chez les jeunes sujets, prend, chez les plus âgés, une teinte légèrement jaune ambré, commençant par le centre.

Le cristallin comprend trois éléments histologiques :

a) Une membrane très élastique : la *Capsule* ou *Cristalloïde*.

Elle recouvre toute la surface du cristallin, son épaisseur varie de 2 à 20  $\mu$  suivant le point considéré.

b) De hautes *cellules hexagonales* :

Elles forment une seule rangée tapissant la face interne de la capsule depuis le pôle antérieur jusqu'à l'équateur.

c) Les *fibres cristalliniennes*.

Ce sont des cellules allongées, disposées parallèlement à la capsule dans la direction méridienne. Les fibres de la périphérie affectent la forme d'un prisme hexagonal aplati, celles du centre sont de plus en plus irrégulières.

Elles proviennent des cellules épithéliales qui s'allongent, voient apparaître des vacuoles et s'estomper les contours nucléaires, puis perdent leur noyau. Ceci explique que les fibres centrales soient moins nettes et finissent même par se confondre, surtout chez les individus âgés.

*Modifications subies dans la cataracte.*

On admet généralement une diminution de volume dans la cataracte. SMITH (cité d'après NORDMANN), indique une moyenne de 208 mme. contre 220 pour le cristallin normal, pourtant MAYNARD note une augmentation de volume sur des cataractes provenant d'opérations. Il est vrai qu'on ob-

serve dans la cataracte sénile un stade d'intumescence spécialement au début de son évolution, ou même avant l'apparition des opacités.

*Altérations des fibres.* — Elles atteignent surtout la couche corticale du cristallin. Les fibres se tuméfient, leurs contours deviennent irréguliers, elles laissent apparaître entre elles de minces espaces remplis d'un liquide albumineux pendant qu'elles mêmes perdent leur noyaux et dégénèrent ; on trouve dans les cataractes assez anciennes des concrétions calcaires et WESSELY (cité par ADAMS, 14) observe dans le noyau des calcosphérites englobés parmi les fibres.

La dégénérescence graisseuse est assez discutée : on observe dans certaines cataractes des modifications graisseuses des fibres et parfois des gouttelettes de graisse. Mais, dans la majorité des cas, il n'en est rien. On y trouve aussi quelquefois des cristaux de cholestérol.

*Lésions de l'épithélium.* — Il présente des signes de dégénérescence et de prolifération cellulaire : Hypertrophie de certaines cellules qui présentent des vacuoles et dont les noyaux sont en désintégration, tandis que d'autres se confondent et montrent de petits noyaux. Souvent l'épithélium dépasse l'équateur et tapisse une plus ou moins grande partie de la cristalloïde postérieure.

## II. — PHYSIOLOGIE

### 1° NUTRITION.

Le cristallin étant dépourvu de vaisseaux, comment lui arrivent les produits nécessaires à sa nutrition et par quelle voie s'éliminent les déchets ?

On admettait autrefois l'existence de courants nutritifs : la nutrition du cristallin se ferait à travers la capsule, mais avec une porte d'entrée et une porte de sortie bien déterminées. Les anciens auteurs (PANAS (1), MAGNUS (2)) donnaient, comme voie de pénétration, soit le pôle postérieur, soit l'équateur, soit une zone post-équatoriale, la voie de sortie du courant nutritif étant la cristalloïde antérieure. Certains estimaient que les substances nécessaires au cristallin y pénétraient par toute la surface du segment postérieur de la membrane.

Tous étaient d'accord pour admettre une circulation nourricière postéro-antérieure, c'est-à-dire du corps vitré vers l'humeur acqueuse.

En 1900, OVIO (3) effectuant des recherches par injections de substances telles que le ferrocyanure, l'iodure de potassium et quelques colorants, a montré qu'il n'y avait pas de différence dans le mode de pénétration de ces produits dans le cristallin, qu'ils soient injectés soit par voie sous-cutanée, soit dans le vitré, soit dans le globe oculaire énuclée, soit même que le cristallin extrait de l'œil baigne dans ces liquides. Il n'y a pas de voie d'entrée ni

de sortie spéciale, et la pénétration de ces substances obéit aux lois de l'osmose, dont le même auteur avait déjà, avec MANCA (4), montré l'importance par la production de cataractes artificielles.

Toutes ces expériences montrent l'importance de la perméabilité capsulaire.

## 2° PERMÉABILITÉ CAPSULAIRE.

D'autres recherches effectuées par la suite montrent la grande perméabilité de la membrane cristallinienne.

Parmi les travaux plus récents, citons ceux de FRIEDENWALD (5), qui trouve que la cristalloïde laisse passer tous les électrolytes et la plupart des colloïdes, et que sa perméabilité, qui diminue avec l'âge, peut être abaissée artificiellement par l'action du calcium, de certaines protéines extracellulaires et peut-être du cholestérol ; cette baisse de la perméabilité pouvant provoquer une cataracte corticale chez l'animal.

GIFFORD, LEBENSOHN et PUNTENNEY (6) constatent aussi bien par injection à l'animal vivant que par des expériences *in vitro*, la perméabilité de la capsule normale à l'eau, aux électrolytes et à des substances comme le salicylate de soude et la fluorescéine. Elle ne fait office de barrière que pour certains colloïdes à gros coppuscles et les substances à poids moléculaire élevé : albumine, certaines globulines, etc., encore existe-t-il une minime

perméabilité vis-à-vis de ces substances. Ils notent également une diminution de la perméabilité avec l'âge (surtout pour les substances dialysant du dehors ou dedans).

Dans la cataracte, FRIEDENWALD trouve de grandes variations, mais conclut à une diminution de la perméabilité au début de son évolution, les valeurs plus élevées trouvées ensuite provenant sans doute de ce que le passage à travers la cristalloïde est facilitée par la présence de substances fermentatives provenant de l'autolyse des couches corticales du cristallin. Il déduit de ses travaux que le développement de certaines formes de cataracte sénile est lié à un abaissement trop grand de la perméabilité cellulaire.

GIFFORD (6) obtient sur des cataractes des valeurs normales, tandis que SEKI, puis SCHMERL et THIEL (cités par NORDMANN) constatent au contraire une augmentation de la perméabilité.

### 3° MÉTABOLISME.

Les échanges au niveau du cristallin sont plus actifs qu'on ne l'a cru généralement. Nous empruntons à l'excellent travail de mise au point de l'ensemble de la question de la cataracte publié par NORDMANN (7), les idées qui se dégagent des plus récents travaux qui y ont été consacrés. Ils ont surtout étudié la consommation en oxygène et la glycolyse du cristallin normal, le cristallin cata-

racté n'ayant fait l'objet que de quelques mesures de consommation d'oxygène. Les chiffres rapportés sont très variables suivant les auteurs : nous trouvons des valeurs allant de 4 millimètres à 60 millimètres à une température de 39°, suivant l'animal utilisé et les conditions d'expérience. L'intensité respiratoire croît quand la capsule est lésée et au début de certaines cataractes expérimentales, mais s'abaisse sans doute par la suite et n'est pas en cause dans la pathogénie de la cataracte.

#### 4° PHYSICO-CHIMIE DU CRISTALLIN.

##### a) *Tension osmotique.*

MANCA et OVIO (4), les premiers, étudièrent l'action de solutions de pressions osmotiques différentes sur le cristallin. Ils ont provoqué l'opalescence du cristallin en le plongeant dans des solutions hypotoniques ou hypertoniques. Cherchant à déterminer la solution de chlorure de sodium isotonique du cristallin, ils trouvent des concentrations variant avec l'espèce animale. Pour le cristallin de grenouille, l'isotonie est réalisée par une solution à 0,804 % ; pour le cristallin de bœuf, cette concentration devient 1,2 %.

SCALINCI (8) trouve un chiffre voisin (1,15 à 1,35), en étudiant la conductivité électrique de différentes solutions de chlorure de sodium dans lesquelles on plonge un cristallin.

NORDMANN (9) a déterminé tout récemment

l'abaissement cryoscopique du cristallin normal et cataracté et trouve dans les deux cas des chiffres identiques, ses déterminations lui donnant sur des cataractes une moyenne à peu près égale à la normale : il note en effet sur les cristallins normaux un abaissement cryoscopique de  $-0,51^{\circ}$  à  $-0,63^{\circ}$  avec une moyenne de  $-0,55^{\circ}$ , et dans la cataracte : de  $-0,50^{\circ}$  à  $-0,61^{\circ}$ , et une moyenne de  $-0,54^{\circ}$ .

b) *pH*.

Il est situé un peu au-dessus de 7 ; les auteurs donnent des chiffres variant légèrement entre eux, par suite des difficultés de l'opération, des variations individuelles et de celles qui se produisent rapidement après la mort ou l'extraction.

SCALINCI (8), par mesure à l'électrode à hydrogène sur les cristallins broyés avec de l'eau, obtient un pH de 7,38.

LAVAGNA (10), par colorimétrie ou électrométrie sur les cristallins broyés dans l'eau salée, obtient un pH moyen de 7,556 chez les jeunes chevaux et 7,635 chez les chevaux âgés, soit une différence négligeable. Dans la cataracte en évolution, il obtient une moyenne nettement inférieure : 6,626 avec assez larges variations (de 6,22 à 7,35). Une cataracte ancienne lui donne cependant un pH plus élevé de 7,85.

Enfin NORDMANN (9) trouve de plus faibles variations dans la cataracte et constate même une aug-

mentation dans la cataracte naphthalinique. Mais si les chiffres des moyennes diffèrent, les chiffres des diverses expériences s'enchevêtrent. Il obtient :

dans le *cristallin normal* un pH de 7 à 7,95,

avec une moyenne de 7,42 ;

dans le *cristallin cataracté* un pH de 6,7 à 7,7,

avec une moyenne de 7,32 ;

dans la *cataracte naphthalinique* un pH de 7,6 à 8,2,

avec une moyenne de 7,84.

## POIDS

### RECHERCHES ANTÉRIEURES

Tous les auteurs signalent une augmentation du poids avec l'âge et une diminution dans la cataracte.

*Age.* — DEUTSCHMANN (11) et PRIESTLEY SMITH (12) démontrent l'augmentation de volume et de poids du cristallin au cours de l'existence. COLLINS, SALIT (cités d'après NORDMANN) et JESS (13) confirment ce fait. Ce dernier a montré que la taille de l'animal n'influe pas sur le poids de ses cristallins et que les poids des 2 cristallins d'un même individu ne présentent jamais de différence importante.

*Cataracte.* — En s'opacifiant le cristallin perd de son poids, ainsi qu'il ressort des travaux de PRIESTLEY SMITH qui, pour un chiffre de 0. gr. 240 dans le cristallin normal de l'homme de 60 ans, note dans la cataracte des valeurs toujours inférieures à 0 gr. 20. Plus près de nous, JESS (13) et Miss

ADAMS (14) observent une diminution assez importante du poids du cristallin dans la cataracte.

## RECHERCHES PERSONNELLES

### *Cristallins normaux.*

Comme nous l'avons indiqué dans l'introduction de cette étude, nous n'avons malheureusement aucun chiffre à donner pour le cristallin humain adulte.

Notons à titre documentaire :

Chez le nourrisson de 3, 4 et 6 mois : 0 gr.125,  
0 gr.120 et 0. gr. 141.

Chez le lapin de 6 semaines à 2 mois 1/2 : des chiffres allant de 0 gr. 155 à 0 gr. 227, avec une moyenne de 0 gr. 194.

Chez le bœuf de 2 à 5 ans : 4 lots de 10 à 15 cristallins nous ont donné par cristallin : 1 gr. 98 à 2 gr. 40 avec une moyenne de : 2 gr. 16.

Le cheval nous donne des chiffres plus élevés :

Sur un poulain de 18 mois nous trouvons 2 gr. 08

» un cheval de 3 ans » » 2 gr. 42

» » » de 4 ans » » 2 gr. 62

D'autres plus âgés nous ont donné une échelle de poids allant de 2 gr. 60 à 3 gr. 52, avec une moyenne de 3 gr. 14.

*Cristallins cataractés.*

Etant donné l'état des cataractes que nous avons à notre disposition et la déshydratation qu'elles avaient subie depuis leur extraction, nous donnerons les chiffres obtenus après dessiccation complète avec ceux des cataractes telles que :

*Avant dessiccation*, nous avons observé une échelle de poids allant de : 0 gr. 05 à 0 gr. 134, avec une valeur moyenne de 0 gr. 081.

*Après dessiccation*, les chiffres extrêmes sont :

0,028 et 0,072

avec une valeur moyenne de 0,045.

Notons qu'il s'agissait de cataractes extraites sans la capsule et dont la couche corticale était plus ou moins complète.

---



**Etude Chimique**  
**du Cristallin normal**  
**et du Cristallin Cataracté**

---

Ainsi que nous l'avons annoncé dans l'introduction de ce travail, nous avons étudié les principaux constituants chimiques de la substance cristallinienne en opérant sur des cristallins normaux de lapin, de bœuf et de cheval, et sur des cristallins cataractés séniles humains provenant d'extractions chirurgicales.

Sans préjuger de la forme sous laquelle préexistent dans le cristallin le Phosphore et le Soufre, nous avons adopté, pour la clarté de cet exposé, l'ordre suivant, basé sur l'état sous lequel se trouvent les différents éléments minéraux, après minéralisation des cristallins.

*PREMIÈRE PARTIE. — Eléments Minéraux. —*

Humidité - Cendres.

|                  |   |                            |
|------------------|---|----------------------------|
| A. — CATIONS ... | } | I. — CALCIUM.              |
|                  |   | II. — SODIUM.              |
|                  |   | III. — POTASSIUM.          |
|                  |   | IV. — AUTRES CATIONS.      |
| B. — ANIONS .... | { | I. — CHLORE.               |
|                  |   | II. — ION $\text{SO}^4$ .  |
|                  |   | III. — ION $\text{PO}^4$ . |

*DEUXIÈME PARTIE. — Constituants organiques.*

A — Cholestérol et esters.

B. — Protides.

C.— Glucides.

Afin de faciliter la lecture de notre travail, nous avons adopté une méthode d'exposé qui envisage successivement :

— Les résultats acquis au cours des recherches antérieures ;

— Notre protocole expérimental ;

— Les résultats de nos essais exprimés en pourcentage de substances fraîche, de substance sèche et, éventuellement, des cendres.

Spécifions qu'en ce qui concerne les cataractes, nous faisons, une fois pour toutes, les réserves qui s'imposent quant au pourcentage par rapport au poids frais, étant donné notre ignorance sur le taux d'hydratation au moment de l'extraction.

---

## PREMIÈRE PARTIE

---

### **Les Substances Minérales**

---

Elles ne forment qu'une bien minime partie de la substance cristallinienne et pourtant l'intérêt de leur étude est grand à plusieurs points de vue.

Le mode de nutrition du cristallin et les cataractes expérimentales obtenues par l'action osmotique de solutions hyper ou hypotoniques (MANCA et OVIO) montrent l'influence de la tension osmotique, et partant de la composition saline sur la vie de cet organe. Rappelons toutefois que dans la cataracte, NORDMANN (9) vient de constater un abaissement cryoscopique normal.

L'importance du calcium en biologie, les observations de cataractes par troubles endocriniens et spécialement parathyroïdiens, ainsi que le désir d'éclaircir les rapports qui pourraient exister entre la cataracte sénile et les cataractes provoquées expérimentalement par parathyroïdectomie nous ont conduits à étudier spécialement cet élément, ainsi que le potassium dont on connaît l'influence

opposée à celle du calcium sur la perméabilité cellulaire.

## HUMIDITÉ

### RECHERCHES ANTÉRIEURES.

#### I. — Cristallins normaux.

On remarque dans les chiffres cités par quelques auteurs du siècle dernier, d'assez larges variations : le taux d'humidité oscille de 60 à 75 % d'après MICHEL, WAGNER et JACOBSEN (cités par NORDMANN) et DEUTSCHMANN (11).

Plus près de nous, citons les travaux de JESS (13) qui étudie la proportion d'eau dans le cristallin de bœuf et trouve, suivant l'âge, une diminution de 67 % chez le veau, à 62 % chez le vieux bœuf. SALIT, puis LAVAGNA, notent également une diminution de l'humidité avec l'âge ; ce dernier constate une moyenne de 66,29 % d'eau chez le jeune cheval et de 64,18 % chez le cheval âgé.

#### II. — Cristallins cataractés.

Quant à l'influence de la cataracte sur la teneur en eau du cristallin, deux thèses trouvent des défenseurs :

a) *A la thèse de l'hydratation* se rangent DEUTSCHMANN (11), DOR (16), ROEMER (17), EVANS et

KERN (18), LAVAGNA (10) qui trouve un taux d'humidité de 71,5 % dans des cataractes de chevaux, KUBIK (19) qui montre une augmentation même en valeur absolue de l'eau au cours de l'évolution de la cataracte avec des proportions allant de 66,22 à 77,8 %, suivant le degré de maturité de l'affection.

b) *Les principaux partisans de la déshydratation* sont : COLLINS qui, comme JACOBSEN, constate une baisse de 71 à 65 % du rapport humidité : poids du cristallin ; JESS (13), qui signale dans la cataracte du bœuf une diminution en valeur absolue et relative de l'eau du cristallin ; enfin Miss ADAMS (14) qui constate un abaissement du rapport

$$\frac{\text{poids sec}}{\text{poids frais}}$$
 dans la cataracte.

## RECHERCHES PERSONNELLES

### I. — Cristallins normaux.

Nous avons déterminé le taux d'hydratation de cristallins normaux de nourrissons humains, de lapins, de bœufs et de chevaux, par pesée à l'état frais et après dessiccation à l'étuve à 100° jusqu'à poids constant. Nous avons procédé à ces opérations dès le prélèvement de ces cristallins qui était lui-même effectué aussitôt après la mort.

RÉSULTATS.

A. — *Nourrissons humains*

|                                          | I      | II     | III     |
|------------------------------------------|--------|--------|---------|
| Nombre de cristallins mis en œuvre ..... | 2      | 2      | 2       |
| Age .....                                | 3 mois | 4 mois | 6 mois  |
| Poids frais ....                         | 0,250  | 0,240  | 0,282   |
| Poids sec .....                          | 0,080  | 0,080  | 0,103   |
| Eau .....                                | 0,170  | 0,160  | 0,179   |
| Eau % .....                              | 68 %   | 66,6 % | 63,47 % |

On remarque une diminution de la teneur en eau avec l'âge. Elle a pour ces trois déterminations une valeur moyenne de : 65,8 %.

B. — *Lapins*

| Nombre<br>de<br>Cristallins | Age                          | Poids<br>frais | Poids sec | Eau   | Eau % |
|-----------------------------|------------------------------|----------------|-----------|-------|-------|
| 2                           | 2<br><br>mois<br><br>environ | 0,426          | 0,140     | 0,286 | 67,13 |
| 2                           |                              | 0,427          | 0,157     | 0,270 | 63,23 |
| 2                           |                              | 0,346          | 0,115     | 0,231 | 66,79 |
| 2                           |                              | 0,452          | 0,155     | 0,297 | 65,70 |
| 2                           |                              | 0,335          | 0,130     | 0,205 | 61,20 |
| 1                           |                              | 0,155          | 0,055     | 0,100 | 64,51 |
| 1                           |                              | 0,170          | 0,059     | 0,111 | 65,29 |
| 1                           |                              | 0,212          | 0,076     | 0,136 | 64,15 |
| 1                           |                              | 0,198          | 0,071     | 0,127 | 64,14 |

Ce tableau fait ressortir un taux d'humidité moyen de 64,79 % avec des valeurs extrêmes de 61,20 et 67,13 %.

C. — *Bœuf.*

Nous avons effectué trois déterminations sur des lots de 10 à 15 cristallins : après dessiccation presque complète au vide sulfurique, pulvérisation et mélange au mortier, le taux d'humidité restant était dosé sur 1 gr, du résidu par chauffage à l'étuve à 100° jusqu'à poids constant.

Nous avons obtenu des taux d'hydratation de :

63,13            63,8            et 63,4 %

avec une moyenne de 63,44 %.

D. — *Cheval.*

Nous avons obtenu :

Sur les cristallins d'un poulain de 18 mois : 67 % ;

»        »        de deux chevaux de 3 ans : 63 %  
                                         et 64,83 % ;

»        »        de deux chevaux de 4 ans :  
                                         64,46 % et 64,80 %.

sur des chevaux de 6 ans et plus, des chiffres allant de 60 à 62,8 %.

La moyenne du taux d'humidité relevée sur 28 cristallins de chevaux de trois ans et au-dessus étant de : 62,48 %.

## II. — Cristallins cataractés.

Nous ne faisons que donner les chiffres que nous avons obtenus sur nos cristallins humains cataractés, en rappelant les réserves que nous avons déjà faites au sujet de la déshydratation préalable qu'ils avaient subie depuis leur extraction.

Des pesées effectuées sur des prises d'essais de 5 à 40 cristallins cataractés nous ont donné une teneur en eau moyenne de 45,15 % avec des valeurs extrêmes de 41 et 48,4 %.

## CENDRES

### RECHERCHES ANTÉRIEURES

Les chiffres que nous relevons dans la bibliographie sont assez différents les uns des autres.

COLLINS trouve une proportion de cendres de 0,6 % de la substance fraîche.

BUGLIA (20) les estime à 0,68 % du poids frais pour la zone corticale du cristallin et à 0,58 % pour la partie centrale.

LAPTSCHINSKY (22) note des valeurs voisines, 0,67 à 0,73 %, mais pour le rapport cendres : poids sec.

BURGE (23) trouve pour ce même rapport 2,3 %, et MACKAY STEWART et ROBERTSON (24) lui assignent une valeur de 2,64 %.

Les avis ne concordent pas davantage en ce qui

concerne l'influence de la cataracte sur la proportion de cendres du cristallin.

Les uns, avec COLLINS, trouvent une augmentation, les autres, avec BURGE, puis MACKAY, observent une diminution.

#### RECHERCHES PERSONELLES

##### *Mode opératoire.*

Les cendres étaient obtenues par incinération dans une capsule de porcelaine au four à mouffle :

a) de cristallins normaux de lapins, de bœufs et de chevaux ;

b) de cristallins humains cataractés.

Le résidu était pesé après refroidissement à l'exsiccateur.

##### RÉSULTATS.

###### a) **Cristallins normaux.**

1° *Lapin*. — 2 Déterminations effectuées sur des prises d'essai de 4 cristallins nous ont donné :

2,6 et 2,85 % du poids de substance sèche  
avec une moyenne de 2,68 %.

2° *Bœuf*. — Dans 3 déterminations faites sur 1 gr. à 3 gr. 70 de cristallins secs, nous avons trouvé :

2,5,      2,65 et 2,80 % du poids sec avec une  
moyenne de 2,62 %.

3° *Cheval*. — 3 Pesées effectuées sur 1 gr. 75 à 3 gr. 70 de cristallin sec, nous permettent de noter :

2,4,      2,558 et 2,7 % du poids sec, soit une  
moyenne de 2,57.

b) **Cristallins cataractés.**

5 déterminations ont été effectuées sur des prises d'essai allant de 0 gr. 760 à 1 gr. 783 de substance sèche, elles nous ont donné pour cent parties de poids sec :

3,07,    3,08,    3,11,    3,15,    3,21

avec une moyenne de 3,11 %.

Nous remarquons que le taux des cendres des cristallins normaux de différentes espèces animales varie en raison inverse du poids du cristallin.

Spécifions toutefois que si les moyennes marquent une légère diminution dans ce sens, les chiffres des différentes pesées s'enchevêtrent et qu'une conclusion formelle demanderait à être étayée sur des résultats plus nombreux et surtout sur des prises d'essai plus importantes en ce qui concerne le lapin.

Dans la cataracte nous avons une nette augmentation de la teneur en cendres qui passe de 2,65 environ à 3,11 %.

## A. - Cations

---

### I. — CALCIUM

#### RECHERCHES ANTÉRIEURES.

De tous les éléments minéraux du cristallin c'est le calcium qui a été le plus étudié. Les observations de cataractes avec tétanie et troubles endocriniens ont déterminé de nombreuses recherches sur ses variations dans la cataracte. Nous passerons successivement en revue les résultats obtenus : a) sur des cristallins normaux ; b) sur des cataractes.

#### a) Cristallins normaux.

Bien que le calcium ait déjà été signalé bien auparavant, que BURGE (23) en dose même 0,08 % des cendres dans le cristallin de porc, ce n'est que plus récemment que nous trouvons des dosages de calcium dans le cristallin humain.

GOLDSCHMIDT (25) donne des résultats allant de 0,67 à 0,77 % du poids sec. Mais d'autres auteurs dosent après lui le calcium et trouvent des résultats nettement inférieurs.

MISS ADAMS (14), en 1929, en note de 0,0327 à 0,0864 % de substance sèche, la moyenne de ses dosages étant de 0,0512 %.

MACKAY, STEWART et ROBERTSON (24), en 1932, opérant sur les cendres de 4 cristallins, indiquent le taux de 1,01 % des cendres ou 0,034 % du poids sec.

En France, GRABAR et NORDDMANN (26) dosent de 0,0021 à 0,0108 de calcium pour cent de substance fraîche.

Indiquons également qu'EVANS et KERN (18) en observent 1,2 % des cendres du cristallin de chien.

GOLDSCHMIDT conclut à une augmentation du calcium avec l'âge.

ADAMS, au contraire, ne déduit de ses résultats aucune influence de l'âge, mais trouve des taux très irréguliers pouvant être très différents pour les deux cristallins d'un même individu.

#### **b) Cristallins cataractés.**

BURGE (23) en note 1,5 % des cendres.

D'après SALIT (33), le calcium augmente avec l'évolution de la cataracte : il passerait de 0,0058 % du poids frais dans la cataracte au début, à 0,0509 % dans la cataracte mûre. La moyenne de ses dosages est de 0,0354 % du poids de substance fraîche, avec des variations allant de 0,0028 à 0,104.

Miss ADAMS (14), sur deux lots de 14 et 17 cataractes, obtient 0,0748 et 0,199 % du poids sec. Elle rappelle à ce sujet les calcosphérites que WESSELY a observés dans le noyau du cristallin, englobées dans des fibres normales ou surtout pathologiques, et qu'il considère comme constitués par du phosphate ou du carbonate de chaux, dont la plus ou moins grande importance serait cause des écarts enregistrés.

MACKAY, STEWART et ROBERTSON (24), sur 4 cris-

tallins séniles cataractés, trouvent 0,201 % de calcium pour cent de poids sec et 5,49 des cendres.

Enfin, GRABAR et NORDMANN (26) trouvent 0,0272 à 0,0452 % de substance fraîche.

#### RECHERCHES PERSONNELLES.

L'importance du rôle du calcium dans la genèse de la cataracte, ainsi que les différences parfois considérables relevées au cours de nos enquêtes bibliographiques, sur les résultats trouvés dans les recherches au sujet du taux de cet élément dans le cristallin normal ou pathologique, nous ont amené à attacher une importance particulière à cette partie de notre travail. Nous y avons consacré les cristallins de nourrissons humains que nous avons pu nous procurer et une grande partie de notre matériel de recherches en ce qui concerne la cataracte sénile, afin d'opérer plusieurs dosages sur des prises d'essai importantes, et obtenir ainsi, avec une plus grande rigueur analytique, des résultats moins influencés par les variations individuelles.

Nous exposerons successivement nos recherches sur les cristallins normaux, puis sur les cristallins cataractés.

##### I. — Cristallins normaux.

Nous avons dosé le calcium de cristallins normaux de nourrissons humains, de lapins, de bœufs et de chevaux.

1° MÉTHODE DE DOSAGE.

*Principe.* — Précipitation et séparation du calcium à l'état d'oxalate, à pH 5 ; solution du précipité obtenu dans l'acide sulfurique étendu et titration de l'acide oxalique correspondant par manganimétrie.

TECHNIQUE

*Minéralisation.* — Elle est obtenue par destruction nitro-perchlorique, selon la méthode de KAHANE (28).

Dans un ballon de Kjeldahl, les cristallins sont chauffés avec 15 à 20 cc. du mélange nitroperchlorique, suivant l'importance de la prise d'essai. L'opération est conduite lentement jusqu'à ce que le mélange, qui a d'abord bruni, soit devenu incolore. On chauffe alors plus fortement jusqu'à siccité.

*Précipitation du calcium.* — Le résidu minéral obtenu est dissout, après refroidissement, dans 5 cc. d'acide chlorhydrique au 1/20<sup>e</sup>, et la liqueur versée dans un tube cylindro-conique de centrifugeuse de 20 centimètres cubes. On lave le ballon avec quelques centimètres cubes d'eau distillée, on porte le tube au bain-marie quelques minutes après y avoir ajouté 2 cc. d'une solution saturée d'oxalate d'ammonium. On y laisse tomber une goutte de rouge de méthyle et on verse goutte à goutte de l'ammoniaque dilué jusqu'à teinte vieux rose (à un pH plus élevé le magnésium précipiterait en même

temps que le calcium), on reporte au bain-marie 2 minutes.

*Séparation et titrage volumétrique.* — Après refroidissement, le précipité est séparé par centrifugation et lavé : on dissout ensuite le culot obtenu dans 10 centimètres cubes d'acide sulfurique normal au bain-marie. On titre l'acide oxalique par le permanganate centinormal versé à la microburette de Malmy.

## 2° RÉSULTATS.

### a) Nourrissons humains.

|               | Nombre de cristallins mis en œuvre ..... | I         | II        |
|---------------|------------------------------------------|-----------|-----------|
|               |                                          | 2         | 4         |
| Prise d'essai | Age du sujet ....                        | 4 mois    | 3 et 6 m. |
|               | Poids frais .....                        | 0 gr. 240 | 0 gr. 532 |
|               | Poids sec .....                          | 0 gr. 080 | 0 gr. 183 |
| calcium dosé  | % du poids frais                         | 0,02 %    | 0,0094 %  |
|               | % du poids sec..                         | 0,06 %    | 0,027 %   |

Les résultats de ces deux dosages diffèrent entre eux de 50 %. Il y a lieu de tenir compte des variations individuelle, mais aussi de l'importance de l'erreur relative inhérente au dosage d'aussi faibles quantités de calcium. Signalons, en effet, que dans notre première expérience nous avons utilisé 0 cc. 24 de permanganate centinormal, correspondant à 0 milligr. 048 de calcium, chiffre en l'occurrence inférieur à la correction nécessitée par la présence de traces de calcium dans le réactif nitroperchlorique. Il est bien évident que l'erreur due à la lecture prend en valeur relative une importance considérable.

Remarquons à ce sujet combien sont discutables et difficiles à interpréter les résultats obtenus sur un nombre restreint de cristallins humains, surtout quand leur exposé n'est pas accompagné de la description du protocole expérimental qui en a permis l'obtention.

b) *Lapins.*

|                   |                                                  | I              | II         | III        |
|-------------------|--------------------------------------------------|----------------|------------|------------|
| Prises<br>d'essai | Nombre de cris-<br>tallins mis en<br>œuvre ..... | 2              | 4          | 2          |
|                   | Age .....                                        | 2 mois environ |            |            |
|                   | Poids frais .....                                | 0 g. 412       | 0 g. 745   | 0 g. 310   |
|                   | Poids sec .....                                  | 0 g. 145       | 0 g. 277   | 0 g. 105   |
|                   | Poids des cendres<br>(en millig.) ..             | 3 mil. 914     | 7 mil. 479 | 2 mil. 835 |
| Calcium           | % du poids frais                                 | 0,0208         | 0,016      | 0,022      |
|                   | % du poids sec..                                 | 0,059          | 0,044      | 0,065      |
|                   | % des cendres ..                                 | 2,19           | 1,66       | 2,39       |

c) *Bœuf*.

|                   |                    | I       | II       | III      |
|-------------------|--------------------|---------|----------|----------|
| Prises<br>d'essai | Poids frais .....  | 8 g. 13 | 10 g. 03 | 9 g. 73  |
|                   | Poids sec .....    | 3 g.    | 3 g. 70  | 3 g. 564 |
|                   | Cendres en millig. | 78      | 96,2     | 92,66    |
| Calcium           | % du poids frais   | 0,0039  | 0,0042   | 0,0044   |
|                   | % du poids sec..   | 0,0106  | 0,0113   | 0,0120   |
|                   | % des cendres ..   | 0,410   | 0,436    | 0,464    |

Les moyennes que nous obtenons pour ces trois séries d'essais sont les suivantes :

Nourrissons humains : 0,0126 % du poids frais ;  
0,037 % du poids sec.

Lapins ..... 0,0186 % du poids frais ;  
0,0527 % du poids sec.

Bœufs ..... 0,0041 % du poids frais ;  
0,0144 % du poids sec.

Il ressort de ces résultats que le taux de calcium est nettement inférieur chez le bœuf dont le cristallin est beaucoup plus important. Il nous a paru intéressant de calculer la quantité moyenne de calcium contenue en valeur absolue par le cristallin de chacune de ces trois espèces animales, telle qu'elle ressort de nos expériences :

|                   |                                               | Nourrissons | Lapins   | Bœufs     |
|-------------------|-----------------------------------------------|-------------|----------|-----------|
| Prises<br>d'essai | Poids frais . . . . .                         | 0 g. 772    | 1 g. 467 | 27 g. 890 |
|                   | Nombre de cristallins correspondant . . . . . | 6           | 8        | 12,6      |
| Calcium           | Dosé (en milligr.)                            | 0,038       | 0,278    | 1,17      |
|                   | Pour 1 cristallin (en milligrammes) . . . . . | 0,0163      | 0,0347   | 0,092     |

Il s'agissait, rappelons-le, de lapins de 2 mois environ et de bœufs de 2 à 5 ans. Comme la masse du cristallin augmente avec l'âge, surtout pendant la croissance et que, d'autre part, le taux de calcium varie plutôt dans le sens d'une augmentation

(GOLDSCHMIDT), les quantités de calcium contenues dans le cristallin de l'homme et de lapins adultes doivent être plus grandes que celles trouvées ici et se rapprocher de la valeur trouvée chez le bœuf.

De toutes façons, il apparaît que *plus le cristallin d'une espèce animale est volumineux plus le taux de calcium diminue*, de sorte que les valeurs absolues du calcium ne subissent pas la différence que devrait entraîner la variation du poids.

## II. — Cristallins cataractés.

### 1° MÉTHODE DE DOSAGE.

Nous avons utilisé la technique décrite plus haut à propos du dosage du calcium dans les cristallins normaux. Trois dosages ont été effectués sur des lots de dix-neuf et vingt cataractes, deux autres à partir d'un et deux cristallins opaques.

La minéralisation a été obtenue dans le premier cas par incinération au four à mouffle, dans le second par la méthode nitroperchlorique de KAHANE.

### 2° RÉSULTATS.

Nous donnons dans le tableau ci-dessous le détail des résultats obtenus dans ces dosages :

|                |                                          | I        | II       | III      | IV       | V        |
|----------------|------------------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Prises d'essai | Nombre de cristallins mis en œuvre ..... | 20       | 19       | 20       | 1        | 2        |
|                | Poids frais .....                        | 1 g. 566 | 1 g. 648 | 1 g. 647 | 0 g. 093 | 0 g. 105 |
|                | Poids sec .....                          | 0 g. 860 | 0 g. 935 | 0 g. 935 | 0 g. 051 | 0 g. 058 |
|                | Cendres en milligrammes ....             | 0,026    | 0,028    | 0,029    |          |          |
| Calcium        | % du poids frais .                       | 0,140    | 0,113    | 0,149    | 0,157    | 0,140    |
|                | % du poids sec..                         | 0,255    | 0,201    | 0,263    | 0,285    | 0,256    |
|                | % des cendres ..                         | 8,461    | 6,714    | 8,482    | 9,193    | 8,258    |

Le pourcentage en calcium des cendres a été calculé pour les trois premières déterminations d'après le poids du résidu de l'incinération de la prise d'essai ; pour les 2 autres, nous nous sommes basé sur la moyenne que nous avons obtenue par nos différents essais sur la teneur en cendres du cristallin cataracté.

La moyenne de nos résultats est :

Calcium % du poids sec : 0,2408 ;

» % des cendres : 7,911.

Remarquons :

1° que le taux en calcium du cristallin cataracté est beaucoup plus élevé que celui du cristallin normal : les chiffres extrêmes de nos recherches sur le cristallin normal de nourrisson ou de lapin et sur la cataracte humaine sont entre eux dans un rapport qui varie de 1/3 à 1/10°.

2° les grandes variations que l'on doit rencontrer dans la cataracte, puisque nos 3 premiers dosages bien qu'effectués sur des lots de 20 cataractes prises au hasard, nous donnent des chiffres extrêmes différant entre eux de 25 %.

A ce sujet, nous notons ici que sur un cristallin cataracté hypermur de vieux cheval, nous avons déterminé comme taux de calcium :

0,469 % de poids sec,

soit deux fois plus environ que dans nos cataractes humaines.

L'opacification de ce cristallin de cheval était arrivée à un degré d'extrême maturité, ayant causé depuis un certain temps la cécité complète de l'œil atteint et dépassant le stade où l'homme cataracté se confie habituellement aux mains de l'opérateur.

Ceci indique bien que *l'augmentation de la teneur en calcium ne fait que s'accroître au cours de l'évolution de la cataracte.*

---

## II. — SODIUM

---

### RECHERCHES ANTÉRIEURES

Les chiffres que nous trouvons dans la bibliographie au sujet de la teneur en sodium du cristallin, quoique n'étant pas très nombreux, sont variables, et les opinions diffèrent quant à l'influence de la cataracte.

BURGE (23) note une augmentation de la teneur en sodium du cristallin cataracté dont les cendres en contiendraient 25,7 % contre 6,67 % pour le cristallin normal.

MACKAY, STEWART et ROBERTSON (24) en dosent dans le cristallin normal 12,6 % des cendres ou 0,332 % du poids sec et dans le cristallin cataracté: 27,30 % des cendres.

EVANS et KERN (18) ne constatent pas de différence sensible dans la cataracte.

BURDON COOPER et LEWIS (29), dans leurs études spectrographiques, notent une grande variation dans la teneur en sodium des cristallins cataractés. Ils concluent à une augmentation et croient qu'il y a un certain parallélisme entre le potassium et le sodium.

## RECHERCHES PERSONNELLES

### 1° *Méthode de dosage.*

Nous avons employé la méthode de microdosage préconisée par GRABAR (30), dérivée de celle de BLANCHETIÈRE (31).

*Principe.* — Précipitation et dosage pondéral du sodium à l'état d'acétate triple d'uranium de magnésium et de sodium (sel de Streng), insoluble dans le réactif précipitant et dans l'alcool à 95°.

### TECHNIQUE

*Minéralisation.* — Elle a été obtenue par destruction à l'acide nitrique : les cristallins sont chauffés à flamme réduite dans un ballon de Kjeldahl, avec de l'acide nitrique concentré jusqu'à décoloration du liquide obtenu, puis la chauffe est accélérée jusqu'à siccité.

« *Elimination des phosphates et du fer* ». — Le résidu obtenu est dissout à chaud dans 10 cc. d'acide chlorhydrique à 1/100°. On verse la solution obtenue ainsi que les eaux de lavage (2 fois 5 cc. d'eau bi-distillée) dans un vase à précipiter de 50 cm<sup>3</sup> ; on y ajoute XXV gouttes d'une solution de perchlorure de fer à 4 %, puis II gouttes d'eau de brome (pour éliminer les phosphates et peroxyder éventuellement les sels ferreux). On porte 1/2 heure au

bain-marie. On alcalinise, en présence de phénol-phtaléine, par l'ammoniaque dilué au  $1/10^{\circ}$  ; on chauffe une heure au bain-marie (pour éliminer les sels ferriques), jusqu'à réduction à 2 ou 3 cm<sup>3</sup>.

Après filtration sur un petit filtre sans cendres et lavage de celui-ci à l'eau légèrement ammoniacale, on acidifie faiblement par l'acide acétique à  $1/10^{\circ}$ . On ajoute goutte à goutte, jusqu'à ce que la liqueur prenne une teinte verdâtre, du réactif uranique (solution *a*) ; au bout de 15 minutes, si aucun louche ne s'est produit, on réduit au bain-marie à 2 cm<sup>3</sup>. Dans le cas contraire, on ajoute auparavant un excès de réactif d'urane et on filtre.

« *Précipitation du sodium et dosage* ». — Après refroidissement, on ajoute 20 cc. du réactif d'urane acéto-magnésien (solution *b*), on laisse précipiter en agitant de temps à autre pendant 20 minutes ; on laisse ensuite sédimenter.

On filtre lentement, à la trompe à vide, sur un filtre taré en verre poreux, imbibé au préalable de réactif *b*. On lave le précipité par décantations successives avec 3 fois 6 à 7 cc. de ce réactif, puis avec de l'alcool à 95° ; on entraîne sur le filtre les dernières parcelles du précipité à l'aide de l'alcool.

On sèche à l'étuve à 100-110° jusqu'à poids constant, on pèse après refroidissement dans l'exsiccateur.

Le poids de sodium contenu dans la prise d'es-

sai est donné par la relation  $\frac{P}{60,43}$ . P représentant le poids d'acétate triple pesé.

*Précautions à prendre.* — Toute la verrerie utilisée au cours de ce dosage doit être soigneusement lavée à l'acide nitrique, puis à l'eau distillée.

Les réactifs et l'eau distillée doivent être d'une grande pureté et exempts de toute trace de sodium. Il est indispensable de s'en assurer en effectuant au préalable un dosage à blanc sur une quantité connue de sodium.

#### RÉACTIFS.

##### *Solution a :*

|                                       |         |
|---------------------------------------|---------|
| Acétate d'urane . . . . .             | 100     |
| Acide acétique crist. . . . .         | 50      |
| Eau distillée <i>q. s. p.</i> . . . . | 1 litre |

##### *Solution acéto-magnésium :*

|                                       |         |
|---------------------------------------|---------|
| Acétate de magnésium ..               | 333     |
| Acide acétique crist. ....            | 60      |
| Eau distillée <i>q. s. p.</i> . . . . | 1 litre |

Le *réactif b* est préparé au moment de l'emploi par mélange de ces deux solutions à volumes égaux ; après un contact de 20 minutes environ, on filtre afin d'éliminer les traces de sodium qui pourraient venir des composants.

2° *Résultats.*

Nous avons dosé le sodium dans le cristallin normal de lapin, de bœuf et de cheval, ainsi que dans le cristallin cataracté humain.

a) **Cristallins normaux.**

|                   |                       | Lapin    | Bœuf     | Cheval   |          |
|-------------------|-----------------------|----------|----------|----------|----------|
|                   |                       |          |          | I        | II       |
| Prises<br>d'essai | Poids frais . . . . . | 0 g. 720 | 1 g. 366 | 1 g. 420 | 1 g. 315 |
|                   | Poids sec . . . . .   | 0 g. 245 | 0 g. 500 | 0 g. 500 | 0 g. 500 |
| Sodium..          | % du poids frais      | 0,201    | 0,239    | 0,128    | 0,125    |
|                   | % du poids sec..      | 0,591    | 0,655    | 0,364    | 0,331    |
|                   | % des cendres ..      | 22,05    | 25       | 14,16    | 12,9     |

Ces résultats sont assez déconcertants : le cristallin de cheval contient près de 2 fois moins de sodium que celui du bœuf.

Comment interpréter cette différence ? Tient-elle à l'espèce animale ou s'agit-il simplement de variations individuelles ?

b) **Cristallins cataractés.**

|                   |                                          | I     | II    |
|-------------------|------------------------------------------|-------|-------|
| Prises<br>d'essai | Nombre de cristallins mis en œuvre ..... | 10    | 4     |
|                   | Poids frais .....                        | 0,825 | 0,412 |
|                   | Poids sec .....                          | 0,435 | 0,227 |
| Sodium            | % du poids frais                         | 0,202 | 0,240 |
|                   | % du poids sec..                         | 0,383 | 0,437 |
|                   | % des cendres ..                         | 12,35 | 14,09 |

Une cataracte sénile hypermûre de cheval nous a donné un taux de sodium de 0,579 % du poids sec, soit un chiffre plus élevé que ceux que nous avons trouvé pour le cristallin normal de cheval.

Nous réunissons ci-dessous les chiffres extrêmes  
et les moyennes qui ressortent de nos dosages :

|               | I.<br>Cristallins normaux<br>de lapins, bœufs,<br>chevaux | II.<br>Cataractes séniles<br>humaines |
|---------------|-----------------------------------------------------------|---------------------------------------|
| Minimum % sec | 0,331                                                     | 0,383                                 |
| Maximum ..... | 0,635                                                     | 0,437                                 |
| Moyenne ..... | 0,470                                                     | 0,402                                 |

### III. — POTASSIUM

---

#### RECHERCHES ANTÉRIEURES

Les auteurs qui se sont occupés de la partie minérale du cristallin sont d'accord pour constater une diminution sensible du taux du potassium dans la cataracte.

BURGE (23) le dose dans les cristallins humains normaux et dans des cataractes. Il trouve 38,8 % des cendres pour la normale, proportion qui s'abaisse à 5,8 à 9,8 % dans la cataracte.

ADAMS (14), chez l'homme également, donne les chiffres de 0,6025 % du poids sec dans la normale et 0,02 % dans la cataracte.

MACKAY, STEWART et ROBERTSON (24) notent 21,8 % des cendres ou 0,635 % du poids sec, de potassium dans le cristallin humain normal, et 8,5 % ou 0,0309 % dans la cataracte.

EVANS et KERN (18) obtiennent des différences plus faibles : 29,5 et 21,6 % du poids des cendres.

Enfin, BURDON COOPER et LEWIS (29) montrent dans leurs études spectrographiques une baisse du rapport potassium calcium dans la cataracte.

RECHERCHES PERSONNELLES

1° MÉTHODE DE DOSAGE.

Nous avons utilisé la méthode de LEULIER (32).

*Principe.* — Précipitation du potassium à l'état de cobaltonitrite de sodium et de potassium, hydrolyse du précipité et oxydation du nitrite formé par une quantité connue de permanganate ; on détermine l'excès de ce dernier par addition d'iodure et titrage de l'iode libérée, par l'hyposulfite.

TECHNIQUE.

« *Minéralisation* ». — Elle a été obtenue soit par incinération, soit par destruction nitroperchlorique.

« *Précipitation du potassium* ». — Le résidu est repris par l'acide acétique dilué. La solution et les eaux de lavage sont versées dans un tube cylindro-conique gradué de centrifugeuse, de façon à obtenir environ 5 cc. ; on note exactement le volume. On ajoute la solution de cobaltonitrite (réactif *a*) en quantité telle que la concentration finale soit de 1/20°. Après mélange, on laisse reposer 30 minutes : le précipité jaune de cobaltonitrite se rassemble au fond du tube.

« *Séparation du précipité* ». — On centrifuge 5 minutes. Après décantation par siphonage, on remet le culot en suspension dans 5 cc. de liqueur *b*,

on centrifuge 3 minutes, puis on décante. On effectue deux nouveaux lavages identiques, puis un autre avec un mélange à parties égales d'alcool et d'éther. On lave une dernière fois à l'éther ; on laisse évaporer spontanément l'éther imbibant le précipité.

« *Hydrolyse* ». — Au moyen d'un petit agitateur, on met le dépôt en suspension dans 5 cc. de solution de phosphate de soude à 5 % et on porte 5 minutes au bain-marie bouillant. Le précipité jaune de cobaltonitrite fait place à un louche brun dû au phosphate de cobalt formé, soluble dans le phosphate de soude en excès. On laisse refroidir.

« *Oxydation du nitrite et dosage* ». — On verse cette liqueur sur 20 cc. d'une solution de permanganate de potassium de 0,3 à 1 0/00, additionnée de 1 cc. d'acide sulfurique. Après 30 minutes on ajoute 3 cc. de solution fraîche d'iodure de potassium à 10 %. Le permanganate non utilisé libère une quantité correspondante d'iode qu'on titre par l'hyposulfite de sodium N/100 à la burette graduée en 1/20<sup>e</sup> de cc., soit N.

On titre en même temps et dans les mêmes conditions la solution de permanganate employée, soit N'.

La quantité de potassium contenue dans la prise d'essai est donnée par la formule :

$$(N' - N) \times 0,065 \text{ milligrammes}$$

*Réactifs.*

a) Solution de cobaltonitrite de sodium à 20 % dans l'eau acétique à 1 %, préparée extemporai-  
rement.

|    |   |                          |    |   |
|----|---|--------------------------|----|---|
| b) | { | Alcool à 95° .....       | 12 | — |
|    |   | Ether .....              | 12 |   |
|    |   | Acide acétique glacial . | 4  |   |
|    |   | Eau distillée .....      | 6  |   |

*Précautions à prendre.*

De même que pour les dosages de sodium, la verrerie doit être lavée avec soin à l'acide nitrique, puis à l'eau distillée et la pureté des réactifs ainsi que la bonne marche de la technique analytique contrôlées par un dosage à blanc.

2° RÉSULTATS.

Nous donnons ci-dessous les résultats que nous avons obtenus sur des cristallins normaux de lapin ou de cheval, puis sur des cataractes séniles humaines.

La minéralisation a été effectuée par incinération pour le lapin et l'un de nos essais sur les cataractes ; pour les deux autres dosages nous avons employé le mélange nitro-perchlorique.

a) Cristallins normaux.

|                   |                       | Lapin    | Cheval   |
|-------------------|-----------------------|----------|----------|
| Prises<br>d'essai | Poids frais . . . . . | 0 g. 919 | 2 g. 687 |
|                   | Poids sec . . . . .   | 0 g. 333 | 1 g.     |
| Potas-<br>sium    | % du poids frais      | 0,203    | 0,259    |
|                   | % du poids sec..      | 0,561    | 0,697    |
|                   | % des cendres ..      | 21,57    | 25,80    |

b) Cristallins cataractés.

|                   |                                                  | I        | II       |
|-------------------|--------------------------------------------------|----------|----------|
| Prises<br>d'essai | Nombre de cris-<br>tallins mis en<br>œuvre ..... | 4        | 4        |
|                   | Poids frais .....                                | 0 g. 210 | 0 g. 324 |
|                   | Poids sec .....                                  | 0 g. 114 | 0 g. 180 |
| Potas-<br>sium    | % du poids frais                                 | 0,024    | 0,026    |
|                   | % du poids sec..                                 | 0,044    | 0,047    |
|                   | % des cendres ..                                 | 1,43     | 1,516    |

Nos résultats concordent bien avec ceux obtenus par Miss ADAMS et MACKAY ; la cataracte s'accompagne d'une forte baisse de la teneur en potassium, dont le taux, par rapport au poids de substance sèche, est environ douze fois moindre que dans la normale.

#### IV. — AUTRES CATIONS

---

BURGE (23), en 1909, trouve de minimes quantités de magnésium dans les cendres de cristallins normaux. Il note une augmentation de son taux dans des cendres de cataractes américaines, alors que dans les cataractes provenant des Indes, ce métal ne serait pas plus abondant que dans la normale ; les cataractes indiennes seraient caractérisées par une proportion de silicium de 3,63 des cendres.

Cependant, EVANS et KERN (18) ne constatent qu'une minime proportion de magnésium dans la cataracte et jamais de silicium.

#### FER.

A été cherché surtout dans la cataracte noire, dont on essayait d'expliquer la coloration par la présence de sang. Mais le fer a été trouvé depuis dans toutes sortes de cataractes. La coloration noire de certaines cataractes étant plutôt due à l'action d'oxydases sur la tyrosine.

Nous avons recherché le fer dans les cendres des cristallins cataractés et des cristallins normaux de bœufs, et avons obtenu une coloration rouge par addition de sulfocyanure à la solution chlorhydrique du résidu de l'incinération en présence de mélange oxydant.

Nous avons utilisé cette réaction pour effectuer une mesure colorimétrique par comparaison avec la coloration obtenue par une solution de perchlore de fer de titre connu.

Nous avons ainsi obtenu :

a) Sur le cristallin normal de cheval :

0,016 % du poids sec ;

b) Sur les cristallins cataractés humains :

une cataracte noire nous a donné :

0,220 % du poids sec ;

une cataracte ordinaire nous a donné :

0,214 % du poids sec.

Le taux du fer ne varie donc pas suivant la coloration du cristallin cataracté, et ce métal existe en faibles quantités dans le cristallin normal.

---

## B. - Anions

---

### I. — CHLORE

---

#### RECHERCHES ANTÉRIEURES

Les chiffres relevés pour les chlorures au cours de nos enquêtes bibliographiques sont peu nombreux. Cela tient à la fois à la faible proportion du chlore dans le cristallin et au moindre intérêt que présente son étude vis-à-vis de la pathogénie de la cataracte.

Notons les chiffres que trouvent O'BRIEN et SALIT (33) sur des cristallins normaux de bœufs : deux séries de cristallins leur ont donné des résultats de :

0,286 à 0,386 %

et de 0,173 à 0,204 % exprimés en chlorure de sodium pour cent de substance fraîche et qui présentent entre eux une différence assez importante et inexpliquée.

MACKAY, STEWART et ROBERTSON (24) trouvent en chlore :

- dans les cristallins normaux : 0,097 % du poids sec, ou 3,4 % des cendres ;
- dans les cataractes : 0,325 % du poids sec, ou 8,5 % des cendres.

## RECHERCHES PERSONNELLES

### 1° MÉTHODE DE DOSAGE.

*Principe.* — Nous avons employé la méthode de CHARPENTIER-VOHLARD : précipitation de l'ion Cl par le nitrate d'argent en quantité connue. Titration de l'excès par le sulfocyanure en présence d'alun de fer.

### TECHNIQUE.

« *Minéralisation* ». — Elle a été obtenue par chauffage modéré au four à mouffle.

*Dosage.* — Les cendres sont reprises par 5 cc., d'acide nitrique au 1/10<sup>e</sup>. Après lavage à l'eau distillée, la solution obtenue est additionnée de 5 cc. de solution centinormale de nitrate d'argent ; on en titre l'excès par le sulfocyanure centinormal versé à la microburette de Malmy en présence d'alun de fer jusqu'à coloration faiblement rosée.

Un calcul facile donne le poids de Cl contenu dans la prise d'essai, sachant que 1 cc. de solution centinormal de nitrate d'argent correspond à 0 milligr. 355 de chlore.

### 2° RÉSULTATS.

Nous avons déterminé la teneur en Cl : a) du cristallin normal de bœuf et de cheval, en effectuant deux dosages pour chacun d'eux ; b) du cristallin

cataracté humain sur deux prises d'essai de 40 et 20 cristallins.

a) Cristallins normaux.

|                   |   | Bœuf                  |                  | Cheval   |         |         |        |
|-------------------|---|-----------------------|------------------|----------|---------|---------|--------|
|                   |   | I                     | II               | I        | II      |         |        |
| Prises<br>d'essai | { | Poids frais . . . . . | 2 g. 762         | 5 g. 464 | 4 g. 84 | 4 g. 71 |        |
|                   |   | Poids sec . . . . .   | 1 g.             | 2 g.     | 1 g. 72 | 1 g. 79 |        |
|                   |   | Cendres . . . . .     | 0,0265           | 0,050    | 0,044   | 0,049   |        |
| Chlore            | { | en Cl                 | % du poids frais | 0,0167   | 0,0143  | 0,0067  | 0,0078 |
|                   |   |                       | % du poids sec.. | 0,046    | 0,039   | 0,0189  | 0,0206 |
|                   |   |                       | % des cendres .. | 1,739    | 1,562   | 0,740   | 0,753  |
|                   | { | en NaCl               | % du poids frais | 0,0275   | 0,0236  | 0,0110  | 0,0128 |
|                   |   |                       | % du poids sec.. | 0,0759   | 0,064   | 0,0312  | 0,0339 |
|                   |   |                       | % des cendres .. | 2,869    | 2,577   | 1,22    | 1,24   |

b) Cristallins cataractés

|                   |   |                                             | I        | II       |
|-------------------|---|---------------------------------------------|----------|----------|
| Prises<br>d'essai | { | Nombre de cristallins mis<br>en œuvre ..... | 40       | 20       |
|                   |   | Poids frais .....                           | 3 g. 348 | 1 g. 640 |
|                   |   | Poids sec .....                             | 1 g. 783 | 0 g. 930 |
|                   |   | Cendres .....                               | 0,055    | 0,029    |
| Chlore            | { | en Cl .... { % du poids frais.              | 0,037    | 0,053    |
|                   |   | { % du poids sec ..                         | 0,069    | 0,094    |
|                   |   | { % des cendres ..                          | 2,25     | 3,03     |
|                   | { | en NaCl . { % du poids frais.               | 0,061    | 0,087    |
|                   |   | { % du poids sec ..                         | 0,113    | 0,155    |
|                   |   | { % des cendres ..                          | 3,71     | 4,99     |

La moyenne de ces deux déterminations nous donne un taux de chlore de : 0,077 % de substance sèche du cristallin cataracté.

En résumé, nous trouvons un taux de chlore nettement plus bas chez le cheval que chez le bœuf, puisque les moyennes des deux déterminations que nous avons effectuées pour chacune de ces deux espèces animales sont de :

|        |   |              |              |
|--------|---|--------------|--------------|
| 0,041  | % | du poids sec | chez le bœuf |
| 0,0197 | % | »            | »            |
|        |   |              | cheval       |

soit une différence d'environ  $1/2$ , que nous pouvons rapprocher de celle observée pour le sodium, sans toutefois que les valeurs trouvées pour le chlore correspondent moléculairement à celles du sodium.

Dans la cataracte humaine, où la moyenne que nous trouvons est de 0,077 % du poids sec, il y a une nette augmentation du rapport chlore-cristallin, mais il y a de telles oscillations et le taux du Cl est si peu élevé, qu'il nous paraît difficile d'en tirer des conclusions formelles.

---

## II. — ION $\text{SO}_4$

---

### RECHERCHES ANTÉRIEURES

On a attaché une grande importance au rôle du soufre dans la genèse de la cataracte.

MOERNER (34) avait déjà dosé le soufre dans le cristallin normal de bœuf où il l'estimait à 0,91 %.

GOLDSCHMIDT (35) en a dosé 1,21 % chez le veau et 1,09 % chez le bœuf. Il a surtout étudié le rôle du soufre à l'état organique dans le cristallin : on savait que le cristallin possédait dans ses groupements protidiques de la cystéine dont la formule :



met en évidence un groupement (SH) qu'elle perd par oxydation de 2 molécules en donnant de la cystine :



D'autres auteurs avaient déjà montré, en particulier REISS et JESS (36), en se basant sur la réaction que les groupements sulfhydriles SH donnent avec le nitroprussiate et l'ammoniaque (réaction d'Arnold : coloration pourpre), que la cystéine diminue et finit par disparaître dans la cataracte sénile. GOLDSCHMIDT étudie le pouvoir qu'a le cristallin de réduire le soufre en H<sup>2</sup>S, réduction liée à l'oxydation de ses groupements SH ; il constate que ce pouvoir diminue avec l'âge et surtout avec la cataracte. Par réduction au sulfite de soude, la cystine qui s'était formée redonne la cystéine, et le pouvoir de réduction réapparaît. Il en est de même dans le cristallin où se fait un cycle continu cystine-cystéine.

Il remarque de plus que par simple extraction, sans désintégration d'albumine, il obtient un groupement (SH) libre qu'il identifie au glutathion, et qu'après cette extraction le cristallin a perdu le pouvoir qu'il avait de réduire en sa leucobase le bleu de méthylène, tout en donnant une réaction positive au nitroprussiate.

Il conclut que l'albumine cristalliniennne renferme un système de réduction thermostable, insoluble dans l'eau, sensible aux oxydants, qui a la propriété de retransformer la cystine et le glutathion oxydé en cystéine et glutathion réduit.

Remarquons toutefois que cette modification du pouvoir d'oxydoréduction observée dans la cataracte ne fait qu'accompagner l'évolution de la maladie et qu'au début la réduction d'Arnold est encore positive et ne s'atténue qu'un peu à la fois.

MACKAY, STEWART et ROBERTSON (24), exprimant leurs résultats en  $\text{SO}_4$ , dosent dans le cristallin normal :

1,2 % du poids sec et 45,8 % des cendres.

Dans la cataracte :

1,66 % du poids sec et 48,1 % des cendres, chiffres assez voisins de ceux obtenus pour le soufre S par GOLDSCHMIDT et MOERNER.

#### RECHERCHES PERSONNELLES

Nous avons dosé le soufre total sur des cristal-

lins normaux de cheval et sur des cristallins cata-ractés humains.

#### 1° MÉTHODE DE DOSAGE.

*Principe.* — Transformation par oxydation du soufre en sulfate. Précipitation à l'état de sulfate de baryum insoluble dans l'acide nitrique et pesée.

#### TECHNIQUE.

*Minéralisation.* — Elle est obtenue par incinération en présence du mélange alcalin oxydant.

*Précipitation.* — Le résidu est repris par l'acide nitrique étendu et, après filtration et lavage du filtre, additionné de 5 cc. d'une solution de chlorure de baryum à 10 %.

Après dépôt du sulfate de baryum, on décante sur un petit double filtre taré ; on lave le précipité en le remettant deux fois en suspension dans quelques centimètres cubes d'eau nitrique, qu'on décante ensuite sur le filtre. On entraîne enfin le dépôt sur le filtre et on continue le lavage jusqu'à ce que le filtrat ne se trouble plus par addition de nitrate d'argent.

On laisse égoutter, on sèche à l'étuve à 100-110° jusqu'à poids constant. Après refroidissement à l'exsiccateur, une double pesée donne le poids de sulfate de baryum correspondant au soufre de la prise d'essai.

Le poids obtenu est vérifié par incinération du

filtre et de son contenu dans une capsule tarée, et pesée du résidu.

2° RÉSULTATS.

|                         |                                               | a) CRISTALLINS<br>NORMAUX | b) CRISTALLINS<br>CATARACTÉS |
|-------------------------|-----------------------------------------------|---------------------------|------------------------------|
| Prises<br>d'essai       | Poids frais . . . . .                         | 3 g. 536                  | 1 g. 477                     |
|                         | Poids sec . . . . .                           | 1 g. 375                  | 0 g. 761                     |
| Soufre<br>exprimé<br>en | S % du poids frais                            | 0,136                     | 0,297                        |
|                         | S % du poids sec                              | 0,349                     | 0,577                        |
|                         | S % des cendres..                             | 13,57                     | 18,61                        |
|                         | SO <sup>4</sup> % du poids<br>frais . . . . . | 0,408                     | 0,892                        |
|                         | SO <sup>4</sup> % du poids<br>sec . . . . .   | 1,048                     | 1,7325                       |
|                         | SO <sup>4</sup> % des cendres                 | 40,77                     | 55,87                        |

Le rapport  $\frac{\text{Soufre du cristallin normal}}{\text{Soufre du cristallin cataracté}}$  est égal à 1,65, soit une nette augmentation dans la cataracte où le soufre tient une place importante dans les cendres, si on l'exprime en SO<sup>4</sup>.

### III. — ION $\text{PO}^4$

---

#### RECHERCHES ANTÉRIEURES

Les dosages de phosphore dans le cristallin ne sont pas très nombreux, et les chiffres que nous trouvons relatés dans la bibliographie sont assez déconcertants.

C'est ainsi que, d'après NORDMANN (7), GOLDSCHMIDT en trouve en moyenne 0,905 % du poids sur les jeunes sujets et 1,144 % chez les plus âgés, et qu'UPDEGRAFF en observait 0,01 à 0,03 dans les cristallins normaux et jusqu'à 5.162 % dans une cataracte, sans que nous puissions préciser s'ils expriment ces résultats en P ou sous forme d'anhydride  $\text{P}^2\text{O}^5$ .

LAVAGNA (10), étudiant le taux des phosphatides du cristallin normal et pathologique, montre une baisse de 4,51 % à 1,73 % du poids sec, dans la cataracte ; baisse précédée d'après lui d'une brusque augmentation.

Enfin, MACKAY, STEWART et ROBERTSON (24) exprimant leurs résultats en  $\text{PO}^4$ , trouvent dans le cristallin normal 0,537 % du poids sec ou 18,6 %

des cendres ; dans le cristallin cataracté : 0,386 % du poids sec ou 11,1 % des cendres.

## RECHERCHES PERSONNELLES

### 1° MÉTHODE DE DOSAGE.

*Principe.* — Nous avons employé la méthode ceruleo-molybdique de DENIGÈS, qui utilise la coloration que donne, avec les phosphates, le sulfomolybdate d'ammoniaque en présence de chlorure stanneux et que l'on compare avec celle obtenue à partir d'une solution étalon de phosphate de soude.

### TECHNIQUE.

*Obtention de la solution de phosphate à partir du cristallin :*

a) Pour le dosage du phosphore total, le résidu de l'incinération ou de la destruction nitroperehlorique était repris par l'eau légèrement chlorhydrique et l'eau distillée, pour avoir finalement une solution très peu acide qu'on neutralise au besoin par la soude diluée et dont 100 cc. correspondent à environ 0. gr. 20 de cristallin sec.

b) Pour le dosage du phosphore minéral, nous

utilisons la liqueur d'épuisement par l'eau chlorhydrique puis l'eau chaude de la poudre de cristallin sec. Après défécation trichloracétique et filtration, on neutralise par la soude normale et on complète avec de l'eau distillée pour avoir un volume tel que 100 cc. correspondent à environ 0 gr. 50 de cristallin sec.

*Dosage colorimétrique.* — A 5 centimètres cubes de la solution obtenue, on ajoute IV gouttes de sulfomolybdate d'ammonium (Molybdate d'ammonium 0 gr. 50, eau distillée 5 cc., acide sulfurique 5 cc.), puis, après agitation, II gouttes de solution de chlorure stanneux (préparé au moment de l'emploi, en faisant agir 2 cc. d'acide chlorhydrique sur 0. gr. 10 d'étain en feuille, et diluant ensuite à 10 cc. avec de l'eau distillée). Il se développe une coloration bleue que l'on compare à celles d'une gamme étalon obtenue en opérant dans les mêmes conditions et en même temps sur 5 cc. de solutions de phosphate de soude renfermant de 1 à 5 milligrammes de  $P_2O_5$  %. Après avoir situé le tube dans la gamme, on le compare au colorimètre au tube le plus voisin et on en déduit par un calcul la teneur en  $P_2O_5$  de la solution examinée.

## 2° RÉSULTATS.

*Cristallins normaux de chevaux*

| a) <i>Phosphore minéral.</i> |                                 |        |                   |
|------------------------------|---------------------------------|--------|-------------------|
| Prises d'essai               | Résultats % du poids sec        |        |                   |
|                              | P <sup>2</sup> O <sup>5</sup> % | P %    | PO <sup>4</sup> % |
| 0 gr. 30 sec                 | 0,085                           | 0,037  | 0,114             |
| 0 gr. 30 »                   | 0,090                           | 0,0393 | 0,120             |
| 0 gr. 65 »                   | 0,081                           | 0,0354 | 0,108             |
| 0 gr. 41 »                   | 0,076                           | 0,0332 | 0,1017            |
| b) <i>Phosphore total.</i>   |                                 |        |                   |
| 0 gr. 30 sec                 | 0,200                           | 0,0873 | 0,2676            |
| 0 gr. 21 »                   | 0,209                           | 0,0912 | 0,2796            |
| 0 gr. 25 »                   | 0,190                           | 0,083  | 0,254             |
| 0 gr. 20 »                   | 0,150                           | 0,0655 | 0,200             |

Ces résultats nous donnent un taux moyen de :

*Phosphore minéral : 0,0358 % de substance sèche.*

*Phosphore total : 0,0825 % de substance sèche.*

La portion organique du P est plus importante que celle qui se trouve à l'état minéral ; c'est elle qui doit diminuer dans la cataracte d'après les recherches de LAVAGNA sur les phosphatides.

---

## DEUXIÈME PARTIE

---

### Constituants organiques

---

Nous avons porté spécialement notre attention sur le cholestérol et ses esters, que nous avons étudié dans le cristallin normal et le cristallin cataracté.

Nous avons ensuite cherché comment se répartissait l'azote des protides dans le cristallin normal. Nous nous sommes borné à doser l'azote total du cristallin cataracté à cause du manque de fraîcheur de notre matériel d'analyse.

Enfin nous avons déterminé le taux de matières réductrices du cristallin normal.

---

### I. — CHOLESTÉROL ET ESTERS

---

#### RECHERCHES ANTÉRIEURES

##### a) *Cristallins normaux.*

La présence des lipides, et en particulier du cho-

lestérol est signalée depuis longtemps dans le cristallin.

LAPSCHINSKY (37) donne les premiers chiffres que nous ayons rencontrés pour le taux du cholestérol et des lipides : moins de 1 % de lipides totaux et 0,22 % en moyenne de cholestérol avec des variations importantes et une augmentation au cours de l'existence.

CAHN (20) donne un chiffre moyen de 0,62 %.

GOLDSCHMIDT (cité par NORDMANN) croit que la courbe des variations du cholestérol avec l'âge présente deux maxima : au début et à la fin de l'existence, tandis que BURGER et SCHLOMKA, d'après le même auteur, en observent 0,134 % du poids sec chez le veau à 0,610 % chez le bœuf de 15 ans.

LAVAGNA (10), dans ses dosages sur les cristallins normaux de chevaux, en trouve chez les jeunes un taux de 0,471 %, qui passe à 0,821 % du poids sec chez les vieux.

#### b) *Cristallins cataractés.*

Nous trouvons ici aussi, bien des résultats contradictoires.

Si CAHN trouve sur deux cataractes humaines 6,22 et 4,55 % du poids sec, soit 7 à 10 fois plus qu'il n'en a dosé dans la normale, Gross ne peut constater de différences appréciables entre le normal et le pathologique.

Plus près de nous, GOLDSCHMIDT constate une baisse du cholestérol dans la cataracte, et d'autres

observent une légère augmentation, comme CAHANE ou UPDEGRAFF, qui, d'après NORDMANN (7), trouvent des taux inférieurs à 0,4 ou 0,5 % dans la normale et jusqu'à 0,6 ou 0,717 % dans la cataracte.

SALIT indique une proportion par rapport au poids frais de 0,031 à 0,063 % chez le jeune bœuf ou le lapin, et de 0,174 à 0,275 % chez l'homme, alors que dans des cataractes humaines, le taux augmente et est en moyenne de 0,62 %

Enfin LAVAGNA (10) dose dans la cataracte 7,61 % du cholestérol total pour cent de substance sèche, soit plus de 10 fois le taux observé dans le cristallin normal

#### RECHERCHES PERSONNELLES

##### 1° MÉTHODE DE DOSAGE.

*Principe.* — Nous avons utilisé la méthode colorimétrique de GRIGAUT, basée sur la réaction de LIEBERMANN : coloration verte donnée par le cholestérol avec l'anhydride acétique, en présence d'acide sulfurique concentré.

##### TECHNIQUE.

###### a) *Extraction du cholestérol et de ses esters.*

La prise d'essai, qui est de deux à cinq cristallins séchés à l'étuve pour le lapin ou l'homme cataracté et de 0,950 à 1 gr. de cristallin sec pour le bœuf ou le cheval, est traitée au bain-marie 1/2 heure par 20cc. d'alcool à 70° sodé à 1 %.

La liqueur obtenue est épuisée par 30 cc. d'éther dans une ampoule à décantation. On soutire la cou-

che inférieure qu'on traite à nouveau par 10 cc. d'éther dans une autre ampoule, on réunit les li-  
queurs éthérées, on lave en faisant couler le long  
des parois quelques centimètres cubes d'eau distil-  
lée qu'on soutire ensuite, on verse l'éther dans une  
capsule, on évapore au bain- marie.

b) *Dosage colorimétrique.*

Le résidu de l'évaporation est repris par 10 cc.  
de chloroforme ; à 5 cc. de cette solution chloroform-  
mique, on ajoute 2 cc. d'anhydride acétique et 5  
gouttes d'acide sulfurique, on compare au colori-  
mètre à la coloration obtenue dans les mêmes condi-  
tions avec 5 cc. d'une solution chloroformique de  
cholestérol à 0,06 %.

2° RÉSULTATS.

a) **Cristallins normaux**

| PRISES D'ESSAI    |               | CHOLESTEROL       |                   |
|-------------------|---------------|-------------------|-------------------|
| Poids frais       | Poids sec     | % du<br>poids fr. | % du<br>poids sec |
| Lapin .. 0 g. 426 | 0 g. 140      | 0,120             | 0,362             |
| Bœuf .. {         | I. - 2 g. 76  | 1 g.              | 0,194             |
|                   | II. - 2 g. 73 | 1 g.              | 0,157             |
| Cheval .. 2 g. 03 | 0 g. 79       | 0,138             | 0,356             |

Les deux déterminations effectuées sur le cristallin de bœuf nous donnent un taux moyen de cholestérol de 0,175 % du poids frais et 0,483 % de substance sèche, qui devient pour l'ensemble de ces essais de 0,443 % du cristallin normal sec.

b) Cristallins cataractés

| PRISES D'ESSAI                           |           |           | CHOLESTEROL       |                   |
|------------------------------------------|-----------|-----------|-------------------|-------------------|
| Nombre<br>de cristallins<br>mis en œuvre | Poids fr. | Poids sec | % du<br>poids fr. | % du<br>poids sec |
| 5                                        | 0,195     | 0,220     | 4                 | 7,5               |
| 4                                        | 0,278     | 0,153     | 2,39              | 4,34              |
| 2                                        | 0,178     | 0,097     | 1,68              | 3,1               |
| 2                                        | 0,100     | 0,055     | 2,16              | 3,92              |
| 2                                        | 0,102     | 0,055     | 2,117             | 3,92              |

Le taux moyen du cholestérol dans la cataracte humaine résultant de ces 5 dosages est de : 5,23 % du poids sec, et le rapport

*cholestérol du cristallin cataracte*

*cholestérol du cristallin normal*

a une valeur de : 11,8

## II. — LES PROTIDES

---

### RECHERCHES ANTÉRIEURES

En raison de leur importance quantitative, ce sont les substances qui furent les plus étudiées dans le cristallin.

Nous ne ferons que passer en revue les principaux résultats acquis au cours des études les plus importantes, en rappelant successivement les études effectuées sur l'azote total, la proportion d'albumine du cristallin et la composition de l'albumine cristallinienne.

#### AZOTE TOTAL

##### a) *Cristallins normaux*

BURGER et SCHLOMKA (27), étudiant la variation de la teneur en azote total du cristallin avec l'âge, en notent une proportion de :

16, % du poids de substance sèche chez le veau ;

16,5 % du poids de substance sèche chez le bœuf de 9 ans ;

16,1 % du poids de substance sèche chez le bœuf de 7 ans.

SALIT en trouve :

4,14 % du poids frais chez le veau ;

5,79 % du poids frais chez le bœuf de 2 ans.

LAVAGNA (10) en dose dans le cristallin de cheval :

15,69 % sur un lot de jeunes animaux ;

15,39 % sur un lot de vieux animaux.

b) *Cataracte*

SALIT, sur des cataractes humains, obtient :  
5,86 % d'azote par rapport au poids frais sur des cataractes au début, mais n'en trouve plus que 2,11 % dans des cataractes mûres.

LAVAGNA, opérant toujours sur le cheval, constate une forte baisse de l'azote total qui tombe à 10,62 % du poids sec.

PROPORTION DES PROTIDES DU CRISTALLIN

HOPPE SEYLER et LAPTSCHINSKY (37) trouvent 34,93 de protides pour cent du cristallin frais de bœuf.

Pour JESS (36), ce rapport passe de :

32,17 % chez le jeune veau,

à 35,35 % chez le bœuf de 16 ans.

SALIT note une différence plus grande encore :  
25,85 % du poids frais chez le veau de 2 mois et  
35,71 % chez le bœuf de 2 ans.

Ces rapports étant exprimés en proportion de la substance fraîche, il y a lieu de tenir compte qu'étant donné le plus grand taux d'humidité chez

le jeune animal, les différences de la teneur en protide exprimée en fonction du poids sec sont moins importantes. Chez l'adulte, ces chiffres exprimés en fonction de la substance sèche sont voisins de 95 %.

b) *Cataracte*

CAHN (20) trouve dans la cataracte un abaissement du taux des protides qui devient de 81,48 à 85,87 % de la substance sèche.

SALIT (33) constate des valeurs normales au début de la cataracte, s'abaissant fortement dans la cataracte mûre, ainsi qu'il ressort de ses dosages d'azote total.

JESS (36) est du même avis.

COMPOSITION DE L'ALBUMINE CRISTALLINIENNE

Malgré quelques essais antérieurs en vue de dissocier l'albumine cristallinienne, c'est MOERNER qui, en 1894 (34), publie une division de l'albumine du cristallin en plusieurs fractions, dissociation qui servira de base à toutes les études ultérieures.

Il trouve dans l'albumine cristallinienne : 48 parties insolubles et 52 parties solubles, et les divise comme suit :

1° *Albumine insoluble ou albuminoïde.*

Elle représente 48 % de l'albumine totale et 17 % du cristallin frais.

Elle est insoluble dans l'eau et les solution salines étendues, soluble dans les alcalis dilués.

Elle coagule à 50°.

2° Partie soluble qui représente le 52/100° de l'albumine totale.

Elle comprend :

a) 37 % d' $\alpha$  *crystalline* : soluble dans les solutions salines étendues. Précipitée par le sulfate de magnésium. Coagulée à 73°.

b) 62 % de  $\beta$  *crystalline* : soluble dans les solutions salines étendues. Précipitée par le sulfate de magnésium. Coagulée à 65°.

c) 1 % d'albumine vraie.

MOERNER note une augmentation de l'albuminoïde avec les années : elle se trouve surtout, ainsi que la  $\beta$  *crystalline*, dans le noyau ; l' $\alpha$  *crystalline* se trouvant surtout dans la zone corticale.

JESS (36) confirme la diminution avec l'âge de la proportion d'albumines solubles qui serait à la naissance de 80 %.

Il a effectué la séparation par hydrolyse des acides aminés des 3 portions principales de l'albumine cristallinienne et il en donne les proportions suivantes :

|                     | Albuminoïde | α) Crystalline | β) Crystalline |
|---------------------|-------------|----------------|----------------|
| Alanine .....       | 0,8         | 3,6            | 2,8            |
| Valine .....        | 0,2         | 0,9            | 2,1            |
| Leucine .....       | 5,3         | 5,7            | 2,8            |
| Acide aspartique .. | 0,5         | 1,2            | 0,4            |
| Acide glutamique .. | 4,6         | 3,6            | 2,7            |
| Tyrosine .....      | 3,6         | 3,5            | 3,7            |
| Proline .....       | 1,9         | 1,8            | 1,4            |
| Phenylalanine ..... | 4,6         | 5,5            | 4,1            |
| Serine .....        | +           | +              | +              |
| Tryptophane .....   | +           | +              | +              |
| Cystéine et cystine | 3,1         | 2,3            | 4,9            |
| Histidine .....     | 2,7         | 3,6            | 2,6            |
| Arginine .....      | 10,3        | 7,8            | 7,5            |
| Lysine .....        | 3,8         | 3,7            | 4,6            |
| Ammoniaque .....    | 6,          | 7,1            | 11,4           |
| Mélanine .....      | 0,6         | 1,1            | 0,1            |

Y. HIJIKATA (38), par hydrolyse du cristallin total, obtient des résultats qui ne concordent avec ceux de JESS que par l'absence de glyco-colle : il trouve 4 à 5 fois plus d'acide glutanique, mais plus de 2 fois moins d'acides diamminés : arginine, lysine et histidine. Pour les autres, il trouve des quantités légèrement supérieures à celles données par JESS, n'ayant pas obtenu le même nombre d'acides aminés.

Dans la cataracte, JESS et CAHN notent une diminution des albumines solubles, et JESS trouve que les cristallines solubles tendent à disparaître au cours de l'évolution de la cataracte, alors que la proportion d'albuminoïde augmente et qu'il constate même une fois son augmentation en valeur absolue.

LAVAGNA a étudié les variations sous l'influence de l'âge et de la cataracte de la proportion d'azote provenant :

1° d'albumine soluble ;

2° des radicaux aminés libres inclus dans cette albumine ;

3° de l'azote aminé non inclus dans cette albumine : peptones, polypeptides, acides aminés libres, etc..., et étudié les rapports qui unissent entre elles ces diverses valeurs.

Opérant sur des cristallins de chevaux sur une portion desquels il avait dosé l'azote total, il dosait dans la solution obtenue par trituration avec l'eau

et filtration, l'azote formol titrable selon la méthode de SÖRRENSSEN.

Il précipitait par l'alcool l'albumine de la solution et dosait dans le dépôt l'azote total et l'azote formol titrable.

Dans le filtrat, un dosage par le formol lui donnait l'azote aminé.

Il obtint ainsi les résultats suivants :

|                                           | CRISTALLINS<br>NORMAUX | CRISTALLINS<br>CATARACTES |
|-------------------------------------------|------------------------|---------------------------|
| Azote total % sec .....                   | 15,54                  | 10,62                     |
| Azote formol total 0/00 sec ..            | 2,493                  | 2,604                     |
| Azote total de l'albumine soluble % ..... | 4,351                  | 1,245                     |
| Azote formol albumine 0/00                | 2,082                  | 1,216                     |
| Azote formol aminé 0/00 ....              | 0,340                  | 1,340                     |

Soit une diminution nette de l'albumine soluble et une augmentation des radicaux formol titrables

indiquant une désintégration plus avancée des protides dans la cataracte.

## RECHERCHES PERSONNELLES

### I — PROTOCOLE EXPÉRIMENTAL

Les cristallins extraits dès l'arrivée au laboratoire des yeux énucléés sur place dès la mort de l'animal, étaient placés, après pesée, dans le vide sulfurique.

Après dessiccation et détermination de la quantité d'eau perdue, les cristallins étaient pulvérisés finement dans un mortier bien sec, de façon à constituer une poudre homogène. Une portion en était mise à l'étuve à 100° pour contrôler la dessiccation.

Sur une petite quantité de 0 gr. 15 à 0 gr. 20, l'azote total était dosé par la méthode de Kjeldahl.

Le reste de la poudre était trituré au mortier avec de l'eau, de façon à avoir une suspension bien homogène. Cette suspension était divisée en 3 parties :

La première (*a*) était additionnée d'une solution d'acide trichloracétique ;

La deuxième (*b*) était déféquée par l'acide phosphotungstique ;

La troisième (*c*) était centrifugée puis filtrée.

Sur les liquides obtenus après dépôt, filtration

et lavage de *a* et *b*, nous dosions l'azote formol titrable et l'azote total.

Sur le liquide *c* étaient effectués :

Un dosage d'azote total ;

Un dosage d'azote formol titrable ;

Une précipitation de globuline par passage d'un courant d'anhydride carbonique, de façon à obtenir le pH : 5, point isoélectrique de la globuline. Le dépôt recueilli sur un double filtre taré est pesé après dessiccation, et un dosage d'azote est ensuite effectué sur les 2 filtres.

## II — TECHNIQUES ANALYTIQUES

### 1° *Défécation par l'acide trichloracétique.*

Le liquide à déféquer est additionné de son volume d'une solution d'acide trichloracétique à 20 %, agité et filtré.

### 2° *Défécation par l'acide phosphotungstique.*

Au liquide à analyser, on ajoute dans l'ordre :

1 volume d'une solution au dixième de phosphotungstate de soude ;

2 volumes d'eau distillée ;

1 volume d'acide sulfurique normal 2/3.

On filtre après agitation.

### 3° *Dosage de l'Azote total.*

*Principe.* — Destruction de la matière organique,

chauffage avec de l'acide sulfurique et du sulfate de potassium ; tout l'azote passant à l'état de sulfate d'ammonium.

Mise en liberté par la soude et distillation de l'ammoniac. Titrage acidimétrique.

#### TECHNIQUE.

Nos dosages d'azote total et d'azote total soluble (liquide c) ont été effectués par la *méthode classique de Kjeldahl* : le résidu de la minéralisation est additionné d'eau et neutralisé par la soude en présence de phénol-phtaléine, on adapte aussitôt à un appareil à distiller prêt à fonctionner et on recueille le distillat dans une solution titrée d'acide sulfurique dont on détermine l'excès par alcalimétrie.

Pour doser l'azote après défécation (liqueurs a et b) , nous avons utilisé *l'appareil de Polonovski et Vallée* (40).

Cet appareil comprend 2 ballons laveurs, renfermant le premier de la soude normale, la seconde de l'acide sulfurique normal.

Un tube A en verre pyrex, de 225 millimètres de longueur sur 55 millimètres de diamètre, dans lequel s'est effectué la désintégration.

Un tube B un peu plus étroit, relié à la trompe à vide, par l'intermédiaire d'un régulateur de Jungfleisb.

Dans le tube B, on place dix centimètres cubes de solution cinquantinormale d'acide sulfurique, et quinze centimètres cubes d'eau distillée, dans lesquels plonge un tube t dont l'extrémité renflée est percée de trous et qui est relié au tube A.

Dans le tube A se trouve le résidu de la désintégration effectuée par chauffage avec 1 cm<sup>3</sup> d'acide sulfurique, et quelques centigrammes de bisulfate de potassium, et qu'on a additionné de phénolphtaline et d'eau pour avoir un volume de 20 centimètres environ. Dans ce liquide plonge un tube identique au ballon laveur contenant l'acide sulfurique.

On neutralise le liquide situé en A par aspiration de quelques centimètres cubes de soude. Ce tube étant aussitôt relié aux ballons laveurs, on fait passer un courant d'air neutre au moyen de la trompe à vide et on chauffe au bain-marie. Après 45 minutes, on titre l'acide sulfurique restant en B par la soude cinquantinormale, en présence de quelques gouttes de solution de rouge d'alizarine. Pour éviter les erreurs de lecture, on effectue parallèlement un titrage dans les mêmes conditions sur dix centimètres cubes d'acide sulfurique cinquantinormal. Par différence, on a la quantité d'acide saturé par l'ammoniac libéré, et dont un centimètre cube correspond 0 milligramme 28 d'azote.

4° *Dosage de l'azote des groupements aminés par la méthode Sörrensen.*

Après neutralisation par la soude decinormale,

en présence de phénol phtaléine, on ajoute deux centimètres cubes de solution de formol neutralisé, on titre alors l'acidité résultant du blocage des groupements  $\text{NH}^2$ , par la soude decinormale, en s'arrêtant à la coloration initiale par comparaison avec un témoin.

Pour nos dosages effectués sur les filtrats de défécation, nous avons utilisé pour ce titrage la soude cinquantinormale.

### III. — COMPOSÉS DOSÉS AU COURS DE CES DIVERSES OPÉRATIONS

*L'azote total* nous donne le taux approximatif des *protides totaux*, en multipliant le pourcentage trouvé par le coefficient moyen de 6,25, sous la réserve qu'il n'est pas tenu compte de la minime partie non-protéique d'azote renfermée par le cristallin, qui est, d'après SALIT, de 0,1 %, et que nous trouvons même inférieure à ces chiffres dans nos dosages après défécation phosphotungstique.

L'azote total soluble comprend l'azote des protides solubles, et la minime partie d'azote non protéique : polypeptides, acides aminés et urée.

L'azote formol titrable nous donne la quantité d'azote des groupements aminés libres.

Après défécation par l'acide trichloracétique, ces mêmes dosages nous donnent les quantités d'azote correspondant aux polypeptides et acides aminés.

La défécation phosphotungstique précipitant les polypeptides nous donne les résultats correspondants aux acides aminés et aux corps non protidiques.

Il nous est facile alors de déduire de nos dosages :

L'azote de l'albumine soluble qui égale la différence entre l'azote soluble et l'azote après défécation trichloracétique.

L'azote polypeptidique représenté par la différence entre les résultats obtenus après défécation trichloracétique et ceux trouvés après défécation phosphotungstique.

## RÉSULTATS

### 1° *Dosages d'Azote des cristallins normaux.*

Nous avons effectué une série de dosages sur des cristallins de jeunes bœufs de 2 à 3 ans et 3 séries sur des cristallins de chevaux de plus de 6 ans, dont il nous est impossible de mieux préciser l'âge.

|                                                        | Bœuf  | Cheval |       |       |
|--------------------------------------------------------|-------|--------|-------|-------|
|                                                        |       | I      | II    | III   |
| Azote total .....                                      | 15,75 | 14,05  | 15,16 | 15,48 |
| Azote total soluble..                                  | 7,49  | 5,71   | 5,25  | 5,45  |
| Azote formol titra-<br>ble .....                       | 0,473 | 0,195  | 0,242 | 0,254 |
| Après défécation trichloracétique                      |       |        |       |       |
| Azote total .....                                      | 0,080 | 0,177  | 0,200 | 0,204 |
| Azote formol titra-<br>ble .....                       | 0,061 | 0,073  | 0,121 | 0,112 |
| Après défécation phosphotungstique                     |       |        |       |       |
| Azote total .....                                      | 0,060 | 0,085  | 0,109 | 0,123 |
| Azote formol titra-<br>ble .....                       | 0,050 | 0,059  | 0,058 | 0,072 |
| Conclusions                                            |       |        |       |       |
| Azote total de l'al-<br>bumine soluble ..              | 7,4   | 5,533  | 5,05  | 5,246 |
| Azote formol titra-<br>ble alb. soluble ...            | 0,412 | 0,122  | 0,121 | 0,142 |
| Azote total des poly-<br>peptides .....                | 0,020 | 0,092  | 0,091 | 0,081 |
| Azote formol titra-<br>ble des polypepti-<br>des ..... | 0,05  | 0,014  | 0,063 | 0,040 |

2° *Précipitation de globuline à pH<sup>5</sup>.*

En amenant la solution des parties solubles du cristallin à un  $\text{pH} = 5$ , par passage d'un courant d'anhydride carbonique, nous avons obtenu un précipité de globuline que nous avons évalué par pesée, puis par un dosage d'azote.

Cette opération nous a donné par rapport au poids sec :

Sur le cristallin de bœuf : par pesée : 26,5 de globuline % et 4,03 % d'azote ;

Sur le cristallin de cheval : par pesée : 21,9 % de globuline et 3,45 % d'azote.

3° *Dosage d'Azote total sur le cristallin cataracté.*

Un dosage effectué sur 2 cristallins humains cataractés nous a donné : 13,5 % d'Azote.

---

## LES GLUCIDES

---

On a cru longtemps que le sucre n'existait dans le cristallin que dans les cas de cataracte diabétique, et que son taux était proportionnel à la gravité du diabète ; nous n'avons pas de chiffres à citer à l'appui de cette thèse, cependant NORDMANN estime que la quantité de sucre décelée dans le cristallin et dans les milieux oculaires est trop infime pour qu'il soit la cause de la cataracte.

On a depuis signalé le sucre dans le cristallin

normal, SALIT et O'BRIEN (33) donnent même les chiffres de :

0,145 % de cristallin frais chez le veau ;

0,135 % de cristallin frais chez le bœuf de deux ans.

### RECHERCHES PERSONNELLES

#### 1° MÉTHODE DE DOSAGE.

*Principe.* — Réduction à chaud de la solution iodomercurelle en présence de soude et dosage iodométrique du mercure réduit.

*Technique.* — Un gramme de cristallin séché et pulvérisé est épuisé par l'eau chaude, on filtre et lave le filtre et le résidu deux fois à l'eau chaude, de façon à obtenir 20 centimètres cubes environ.

On défèque la liqueur obtenue, par addition de 1 cc. 5 de solution de ferrocyanure de potassium à 132 0/00, et de 3 cc. d'une solution d'acétate de zinc à 145 0/00 (Défèquant préconisé par M. PAGET et M<sup>lle</sup> DUPONT (41) ) ; on agite et on filtre. Après lavage du filtre et mesure du filtrat on en tranvase la moitié dans un pyrex.

On ajoute 1 centimètre cube de la solution iodo-mercurelle, 1 centimètre cube de soude normale, on porte 3 minutes au bain-marie à 100° ; on refroidit et on ajoute 2 cc. d'acide sulfurique normal et 2 cc. d'iode centinormal.

On agite vigoureusement et on verse à la micro-burette l'hyposulfite de soude centinormal jusqu'à décoloration, soit  $n$  cc.

La quantité de substance réductrice exprimée en glucose, contenue dans la prise d'essai est de :

$$(2 - n) \times 0,403 \times 2 \text{ milligrammes}$$

## 2° RÉSULTATS.

Nous avons effectué 2 dosages sur le cristallin normal de cheval Ils nous ont donné un taux de matières réductrices exprimé en glucose de :

a) *0,050 % du poids sec ou 0,0184 % du poids frais.*

b) *0,0403 % du poids sec ou 0,0160 % du poids frais.*

---

## Conclusions

---

Au cours de ce travail, nos recherches ont visé l'étude chimique du cristallin normal et du cristallin cataracté. Voici brièvement condensé l'ensemble de nos résultats.

### I. — LA CHIMIE DU CRISTALLIN NORMAL

Le cristallin est constitué par un mélange de substances minérales et organiques.

#### A) LES COMPOSANTS MINÉRAUX

1° *L'eau* est le principal constituant de la substance cristallinienne. Si nous exprimons nos résultats en % du poids frais, nous remarquons que le taux d'hydratation du cristallin normal

|               |         |     |          |    |      |
|---------------|---------|-----|----------|----|------|
| de nourrisson | oscille | aux | environs | de | 65,8 |
| de lapin      | »       | »   | »        |    | 64,7 |
| de bœuf       | »       | »   | »        |    | 63,4 |
| de cheval     | »       | »   | »        |    | 62,2 |

2° *Sels minéraux* — Il est difficile de préciser la

nature exacte des sels minéraux existant dans le cristallin normal. En faisant donc toutes réserves sur la signification exacte du pourcentage de cendres, nous rappelons que nous avons trouvé comme taux de cendres par rapport au poids sec :

|                                    |          |
|------------------------------------|----------|
| dans le cristallin de lapin :      | 2,68 % ; |
| »            »            bœuf :   | 2,62 % ; |
| »            »            cheval : | 2,57 %.  |

Les cendres sont constituées par un mélange de phosphates, de sulfates et de chlorures métalliques. Voici exprimés pour cent de substance sèche les taux des principaux anions et cations qui les constituent :

a) CATIONS.

*Calcium :*

|                                      |          |
|--------------------------------------|----------|
| Dans le cristallin de nourrisson :   | 0,0317 % |
| »            »            de lapin : | 0,0527 % |
| »            »            de bœuf :  | 0,0114 % |

*Sodium :*

|                                       |         |
|---------------------------------------|---------|
| Dans le cristallin de lapin :         | 0,561 % |
| »            »            de bœuf :   | 0,655 % |
| »            »            de cheval : | 0,349 % |

*Potassium :*

|                      |         |
|----------------------|---------|
| Chez le lapin .....  | 0,561 % |
| Chez le cheval ..... | 0,690 % |

*Fer :*

Un essai sur le cristallin de cheval nous a donné un taux de 0,016 % de substance sèche.

b) ANIONS.

*Chlore :*

|                                     |          |
|-------------------------------------|----------|
| Dans le cristallin normal de bœuf : | 0,041 %  |
| » » de cheval :                     | 0,0198 % |

*Sulfates :*

Dans le cristallin de cheval : 0,3490 % en soufre.

*Phosphates :*

Dans le cristallin de cheval : 0,0825 % en phosphore, dont 0,0358 % préexistent dans le cristallin à l'état de phosphates minéraux.

B. — LES COMPOSANTS ORGANIQUES

Ils appartiennent aux trois grandes familles des composés organiques biologiques : lipides, protides et glucides.

1° *Lipides.*

Nous ne nous sommes attachés, en ce qui les con-

cerne, qu'au seul cholestérol et à ses esters. Ils existent dans le cristallin normal à un taux :

|                      |            |
|----------------------|------------|
| Chez le lapin .....  | de 0,362 % |
| Chez le bœuf .....   | de 0,483 % |
| Chez le cheval ..... | de 0,356 % |

## 2° *Protides.*

Nous ne pouvons préciser la constitution chimique exacte de ces composés ; nous ne faisons qu'en situer les principaux aspects en donnant les chiffres des diverses portions d'azote qui s'y trouvent.

Dans le cristallin normal de bœuf ou de cheval, nous avons trouvé :

|                                              |
|----------------------------------------------|
| de 14,05 à 15,75 % d'Azote total ;           |
| de 5,25 à 7,49 % d'Azote total soluble ;     |
| de 0,195 à 0,473 % d'Azote formol titrable ; |
| de 0,060 à 0,123 % d'Azote non protéique.    |

## II. — LA CHIMIE DU CRISTALLIN CATARACTÉ

Nous pouvons condenser nos résultats dans le tableau suivant :

|                              | EXTRÊMES                      | Moyennes |
|------------------------------|-------------------------------|----------|
| Eau .....                    | de 41 à 48,4 % du poids frais | 45,5     |
| Cendres ....                 | de 3,07 à 3,21 % du poids sec | 3,11     |
| Calcium ..                   | de 0,201 à 0,285              | 0,240    |
| Sodium ....                  | 0,083 et 0,437                | 0,402    |
| Potassium ..                 | 0,044 et 0,047                | 0,045    |
| Chlore ....                  | 0,069 et 0,094                | 0,077    |
| Soufre ....                  | 0,577                         | 0,577    |
| Cholesterol<br>et ses esters | 3,1 à 7,5                     | 5,23     |
| Azote total ..               | 13,5                          | 13,5     |

Ces chiffres appellent quelques commentaires.

*Le cristallin cataracté diffère du cristallin normal :*

1° Par une *augmentation du taux des cendres variant de 15 à 20 %.*

2° Par une *augmentation*  
*bien marquée de sa teneur en calcium*. Le rapport

Calcium % du cristallin cataracte

---

Calcium % du cristallin normal

oscillant entre 4,6 et 21, et variant très vraisemblablement en fonction de l'évolution de la cataracte ;

3° Par une *baisse très sensible de la teneur en potassium*, le rapport

K % du cristallin cataracté

---

K % du cristallin normal

pouvant varier de 0,065 à 0,08.

La confrontation des valeurs du rapport

Potassium

---

Calcium

est particulièrement suggestive. Egal à 16,2 dans le cristallin normal, en prenant le taux de calcium trouvé chez le nourrisson, il s'abaisse aux environs de 0,20 dans la cataracte. L'opposition entre les deux types de cristallins est donc bien mise en évidence par ce rapport.

4° Par une *hausse modérée de la teneur en soufre*, le rapport

S % du cristallin cataracté

---

S % du cristallin normal

étant voisin de 1,65 ;

5° Par une *augmentation très accusée de la teneur en cholestérol et ses esters*. Le rapport

Cholestérol % du cristallin cataracté

---

Cholestérol % du cristallin normal

ayant une valeur moyenne de 11,8.

Nous n'avons pas fait état de l'humidité, bien que nous ayons obtenu un taux moyen de 45,5 % : nos cataractes avaient en effet subi une certaine déshydratation depuis leur extraction.

Les divers résultats que nous avons trouvés nous autorisent-ils à tenter quelque essai de pathogénie ?

Une imagination féconde ne manquerait pas de faire appel aux travaux de LOEB, relatifs à l'antagonisme biologique existant entre métaux alcalins et alcalino-terreux. On sait que ce savant biologiste a prétendu qu'une baisse du rapport  $\frac{\text{Ca} \times \text{Mg}}{\text{K} \times \text{Na}}$  provoquait une diminution de la perméabilité cellulaire et vice-versa.

Le taux du cholestérol que nous avons mis en évidence comparé à la très forte hausse des acides gras trouvés par LAVAGNA (10) nous autoriserait aussi à invoquer les travaux de MAYER et SCHAEFFER, relatifs au rôle du rapport  $\frac{\text{cholestérol}}{\text{acides gras}}$  dans le métabolisme de l'eau.

Ralentissement de la nutrition du cristallin, inhérente à un défaut de perméabilité, accompagné peut-être d'une déshydratation partielle, telles seraient alors les composantes biologiques dans la résultante anatomo-pathologique serait la constitution du cristallin cataracté.

« *Vere scire per causas scire* » disait BACON. La cause de ces perturbations dans la composition chimique nous échappe encore. L'étude des troubles humoraux peut-elle mieux nous renseigner ? L'évaluation de la calcémie dans le sérum de sujets atteints de cataracte sénile ne nous a guère donné de résultats probants. L'étude des diverses formes du calcium sanguin n'a pas été plus suggestive entre les mains de NORDMANN (7).

Le problème est posé, mais sa solution est toujours attendue. Peut-être l'endocrinologie nous fournira-t-elle la clef de l'énigme.

Notre satisfaction serait grande, si notre travail de chimie analytique pouvait orienter les chercheurs de demain dans la voie qui les mènerait au succès.

Vu :

*Le Président de Thèse :*

R. DOURIS.

Vu et bon à imprimer :

*Pour le Doyen :*

*Le Professeur Délégué :*

R. DOURIS.

Vu et permis d'imprimer :

*Pour le Recteur de l'Académie,*

*Le Vice-Président du Conseil de l'Université :*

SPILLMANN.

## Bibliographie

---

- ADAMS (Miss. R.) (14). — The role of calcium in senile cataract. — *The biochemical Journal*, t. XXIII, 1929, p. 902.
- BLANCHETIÈRE (31). — Sur une méthode de dosage du sodium. — *Bulletin Soc. Chimique*, 1923, p. 807.
- BUGLIA (20). — Sulle cause dalle qualé dépendi la diversa facilita di opacimento della sostanza centrale e della sostanza corticale della lente cristallina della cataratta post. mortale o da freddo. — *Arch. di. Fisioloj.*, t. XXIV, 1926, p. 454.
- BURDON COOPER et LEWIS (29). — *Congrès International d'Ophtalmol.*, 1928.
- BURGE (23). — Analyse des cendres de cristallins normaux et cataractés. — *Arch. of. Ophthalmology.*, t. XXXVIII, 1909, p. 435. - *In Annales d'oculistique*, t. CXLIV, 1910, p. 442.
- BURGER et SCHLOMKA (27). — Beitrag sur physiologishene chemie des Alterns der Gewebe. — *Zeitschrift f. d. gesante experim. Medizin.*, t. CVIII, 1928, p. 710.
- CAHN (20). — *Zeitschrift für Phys. Chemie*, t. V. (Cité d'après LAVAGNE et NORDMANN).

- DEUTSCHMANN (11). — *Von Graefes Archiv. f. Ophtalm.*, t. XXV, 1879 (cité d'après LAVAGNA (10) ).
- DOR (16). — Affections du cristallin. — *Encyclopédie française d'Ophtalmol.*, t. VII, 1908, p. 1.
- EVANS et KERNS (18). — The relation of the parathyroid gland to cataract. — *American Journ. of Ophtalmol.*, t. XIV, 1931, p. 1029. (Cité d'après NORDMANN (7)).
- FRIEDENWALD (5). — Examen expérimental de la perméabilité de la capsule cristallinienne, spécialement en vue de l'étude de l'étiologie de la cataracte sénile. — *Congrès International d'Ophtalmol.*, 1929. - *In. Arch. d'Ophtalmol.*, t. XLVI, 1929, p. 690.
- GIFFORD, LEBENSOHN et PUNTENNEY (6). — Chimie biologique du cristallin : la perméabilité de la capsule cristallinienne. — *Arch. of Ophtalmology*, septembre 1932, p. 414. - *In Annales d'oculistique*, janvier 1934.
- GOLDSCHMIDT (25). — Beitrag zur Physiologie und Pathologie der Krystallinse. — *Von Graefes. Arch. f. Ophtalmol.*, t. LXXXVIII, 1917, p. 447. (Cité d'après NORDMANN).
- (35). — L'auto-oxydation du cristallin normal et pathologique. — *Von Graefes. Arch. f. Ophtalmol.*, t. CXIII, 1924, p. 160. - *In. Ann. d'Oculistique*, 1928, p. 296.
- GRABAR (30). — Micro-méthode de dosage du sodium dans les milieux biologiques. — *Bull. Soc. Chimie Biologique*, t. XI, janvier 1929, p. 690.
- GRABAR et NORDMANN (26). — Cités d'après NORDMANN (7).

HIJIKATA (38). — *Journal of. Biological Chemistry*, mars 1922. (Cité d'après LAVAGNA (10) et NORDMANN (7) ).

JESS (13). — Die Linse und ihre Erkrankungen. — *Kurzes Handbuch f. Ophthalmol.*, 1930, p. 170. (Cité d'après NORDMANN).

(36). — La chimie moderne de l'albumine dans l'étude de la cataracte. — *Von Graefes. Arch. f. Opht.*, juin 1921, t. CV, p. 428. - *In. Annales d'Oculistique*, 1925, p. 147).

KAHANE (28). — Destruction de quantités importantes de matières organiques, au moyen de l'acide perchlorique. — *Bull. Soc. Chimie Biologique*, t. XI, janvier 1929, p. 58.

KUBITZ (19). — Zur pathologie der menschlichen Stare. — *Arch. für. Augenheilkund* t. CII, 1930, p. 657.

LAPTSCHINSKY (22). — *Pflinger Archiv.*, XIII. (Cité d'après LAVAGNA).

(37). — *Arch. der ges. Physiol.*, t. XIII, 1876. (Cité d'après LAVAGNA).

LAVAGNA (10). — Recherches physico-chimiques sur le cristallin normal et pathologique. — *Thèse de Médecine*, Paris, 1926.

LEULIER (32). — Le Potassium. Microdosage. Fixation. Répartition. — *Bull. Soc. Chimie Biolog.*, février 1933, p. 153.

MACKAY, STEWART et ROBERTSON (24). — A. Note on the inorganic contents of normal and cataractous human crystalline leuses. — *Brittish Journ. Ophthalmol.*, t. XVI, 1932, p. 193.

- MAGNUS (2). — Experimentelle studien über die Ernährung der Linse. — *Von Graefes Arch. f. Ophtalm.*, t. XXXVI, 1890, p. 150.
- MANCA et OVIO (4). — Studi intorno alla cataratta artificiale. — *Arch. di ottalmologia*, t. VI, 1898, p. 69.
- MOERNER (34). — Untersuchung der Proteinsubstanz in den lichtbrechenden Medien des Auges. — *Zeitschrift f. phys. chemie*, t. XVIII, 1894, p. 60.
- NORDMANN (7). — Les données actuelles du problème de la cataracte. — *Arch. d'Ophtalmologie*, 1934, pp. 76, 203, 297.
- (9). — Etudes physico-chimiques sur le cristallin. — *Arch. d'Ophtalmol.*, 1935, 2 et 3, pp. 78 et 170.
- OVIO (3). — Sur la nutrition du cristallin. — *Annales d'oculistique*, t. LXXI, 1900, p. 97.
- M. PAGET et M<sup>elle</sup> DUPONT (41). — *C. R. Soc. Biologie de Lille*, Juillet 1934.
- PANAS (1). — *Archives d'Ophtalmologie*, t. VII, 1887. (Cité d'après LAVAGNA (10) ).
- POLONOVKI et VALLÉE (40). — *Journal de Pharm. et de Chimie*, t. XXIV, 1920, p. 129.
- ROEMER (17). — Die Pathogenese der cataracta senilis vom standpunkt der serumforschung. — *Arch. f. Augenheilkunde*, t. LVI, 1907, p. 150. (Cité d'après *Archiv. d'Ophtalmol.*).
- SALIT et O'BRIEN (33). — Chemistry of. the lens. — *American Journal of. Ophtalm.*, t. XVI, 1933, p. 863. (D'après NORDMANN).
- SCALINCI (8). — Concentration osmotique du cristallin. — *Archivio di ottalmologia*, t. XV, juin 1908, p. 457. - *In. Annales d'Oculistique*, t. CXLIV, 1910.
-

## Table des Matières

---

|                                                                           | PAGES |
|---------------------------------------------------------------------------|-------|
| Introduction .....                                                        | 9     |
| Principales notions d'histologie et de physiologie du<br>cristallin ..... | 13    |
| Etude chimique du cristallin normal et du cristallin<br>cataracté .....   | 25    |
| Les substances minérales .....                                            | 27    |
| Cations .....                                                             | 36    |
| Anions .....                                                              | 63    |
| Constituants organiques .....                                             | 77    |
| Cholestérol et esters .....                                               | 77    |
| Protides .....                                                            | 82    |
| Glucides .....                                                            | 96    |
| Conclusions .....                                                         | 99    |





